BHS III 65

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: III
B.Nr. 65

Die
Dampfmaschine,

faßlich beschrieben und erklärt,

insbesondere

in ihrer praktischen Anwendung

auf

Eisenbahnen und Dampfschifffahrt

nebst

Winken über Eisenbahn-Anlagen

und deren Bedingungen.

Von

Dr. Dionysius Lardner.

Nach der fünften umgearbeiteten Ausgabe aus dem Englischen übersetzt.

Mit veranschaulichenden Abbildungen.

Leipzig,
bei Friedrich Volckmar.
1836

Bayerische Staatsbibliothek München

BIBLIOTHEK DER K. B. GENERAL-BERGW. U. SAL. ADMIN.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorwort.

Die erste Ausgabe dieses in England mit allgemeiner Anerkennung aufgenommenen Werkes eines Verfassers, der unter den britischen Pflegern der Naturwissenschaften einen ehrenvollen Platz einnimmt, erschien im Jahre 1827. Lardner wollte zwar bei der Behandlung seines Gegenstandes auch diejenigen nicht ganz aus den Augen lassen, welche sich der Mechanik als ihrem Berufe widmen, vorzüglich aber zu der in seinem Vaterlande zahlreichen Klasse des Publikums sich wenden, die der hochwichtige Gegenstand seiner Schrift anzieht und die in so vielen Beispielen eines regen Erfindungsgeistes die Auffoderung findet, ihn genauer zu erforschen. „Für Leser dieser Klasse — sagt er — ist die Dampfmaschine ein Gegenstand, welcher, zweckmäßig behan-

delt, einen mächtigen und eigenthümlichen Reiz hat. Mögen wir die Geschichte ihrer Erfindung in Hinsicht auf Zeit und Ort und die dadurch hervorgebrachten Wirkungen, oder auf die Mittel, durch welche diese Wirkungen erlangt wurden, in's Auge fassen, wir finden so vieles, das unseren Nationalstolz befriedigen, unsere Forschbegier wecken, unser Erstaunen erregen, unsere Bewunderung fesseln muß. Die Erfindung und die fortschreitenden Verbesserungen dieser außerordentlichen Maschine sind ein Werk unserer Zeit und unseres Vaterlandes; sie ist fast ganz in dem letzten Jahrhundert zur Vollendung gebracht worden und verdankt ihren Ursprung dem britischen Schöpfergeiste, genährt und unterstützt durch britisches Kapital. Wollten wir die Wirkungen dieser Erfindung aufzählen, so müßten fast alle Lebensbequemlichkeiten, alle Lebensgenüsse aufgezählt werden. Sie hat die Summe des Menschenglücks vermehrt, indem sie nicht nur neue Annehmlichkeiten schuf, sondern auch ältere Lebensgenüsse so wohlfeil machte, daß sie auch denjenigen zugänglich wurden, die früher nicht hoffen durften, sie theilen zu können. Ihre Wirkungen sind nicht auf England allein beschränkt; sie erstrecken sich über die

ganze gesittete Welt, und selbst die wilden Stämme in Amerika, Asien und Afrika werden bald die entfernteren oder unmittelbaren Wohlthaten dieser allmächtigen Kraft fühlen."

Gewiß muß die Wirkung, welche die Dampfmaschine auf den Handel und den Wohlstand der Völker gehabt hat, unser Erstaunen erwecken, und die Mittel, aus welchen diese Wirkung hervorgegangen ist, erregen nicht weniger unsere Bewunderung. Die Geschichte der Dampfmaschine zeigt uns eine Reihe von sinnreichen Erfindungen, die alles übertreffen, was von dieser Art die Jahrbücher der Geschichte erzählen. Diese bewundernswürdigen Erfindungen, allen andern Ergebnissen wissenschaftlicher Forschung ungleich, haben auch die Eigenheit, daß zu dem Verständnisse und der Würdigung ihrer Vortrefflichkeit wenige Vorkenntnisse nöthig sind. Eine einfache und deutliche Darstellung, so viel möglich von technischen Einzelheiten frei, und durch zweckmäßig gewählte Abbildungen veranschaulicht, ist hinreichend, die Grundsätze verständlich zu machen, auf welchen die Einrichtung und die Wirkung der Dampfmaschine beruht.

Lardner wollte sich nach seinem Plane darauf beschränken, diese allgemeinen Grundsätze zu geben, ohne sich in Einzelheiten einzulassen, die nur für den praktischen Mechaniker wichtig sein können, so wie er in der Geschichte der Erfindung und der fortschreitenden Verbesserung der Dampfmaschine nur die wichtigsten Züge hervorhob, die kleinlichen Streitigkeiten aber, welche über die Ansprüche auf die Erfindung von Zeit zu Zeit erhoben wurden, nur flüchtig berührte. Dieselben Rücksichten haben ihn bei den Beschreibungen der Theile der Maschine geleitet. Die Anwendung der Dampfkraft zu mechanischen Zwecken ist bei verschiedenen Gelegenheiten, in verschiedenen Ländern und unter sehr mannigfaltigen Formen vorgeschlagen worden; aber bei weitem die meisten dieser Plane blieben unausgeführt. Auf die Beschreibung solcher verunglückten, wiewohl nicht selten sinnreich erfundenen Maschinen wollte sich der Verfasser nicht einlassen, sondern begnügte sich, nur diejenigen Dampfmaschinen zu beschreiben, die wirklich in Gebrauch gekommen sind und ein wichtiges Glied in der Kette der Erfindung bilden.

Die fünfte Ausgabe seines Werkes, die zu Anfang dieses Jahres unter dem Titel: The Steam Engine familiarly explained and illustrated; with a historical sketch of its invention and progressive improvement; its applications to navigation and railways, with plain maxims for railway speculators — zu London erschien, ist gänzlich umgearbeitet. Die Veränderungen, die in der kurzen Zeit seit der Erscheinung der ersten Ausgabe in der Anwendung der Dampfmaschine auf gemeinnützige Künste statt gefunden haben, sind so bedeutend, daß er eine Umarbeitung seines Werkes für unumgänglich nöthig hielt. Vorzüglich hat er bei dieser neuen Bearbeitung seine Blicke auf die Dampfschifffahrt, die nicht nur die Länder Europa's unter sich verbindet, sondern auch schon den Weg über die Meere in ferne Welttheile abzukürzen beginnt, und auf die Eisenbahnen gerichtet, die überall in Europa und in Amerika dem Handel und dem Verkehr neue erleichternde Wege öffnen, und selbst den neuesten Versuchen, Dampfwagen auf Heerstraßen anzuwenden, eine sorgfältige Beachtung gewidmet.

Alle im Orginal enthaltenen Abbildungen sind

auch dieser Verdeutschung beigefügt worden, welcher der Herausgeber durch den aus des Ritters von Pambour später erschienenem Werke entlehnten Anhang eine Bereicherung gegeben zu haben glaubt.

Leipzig, im Junius 1836.

Inhalt.

Abstoßungskraft, Seite 16—17. Adhäsion auf Eisenbahnen, S. S. 147. 150; auf Heerstraßen, S. 192. 300. Atmosphärischer Druck, S. 4. 17; dessen Einfluß auf das Sieden, S. 18; als mechanische Kraft durch Papin benutzt, S. 40. Atmosphärische Maschinen von Newcomen erfunden, S. 46; ihre Vorzüge vor Savery's Maschine, S. 53. Ausdehnung durch Wärme, S. 8—10.

Barometer, S. 5. Barometer-Probe, S. 108. Beharrungsgesetz, S. 128 ff. Beighton's Verbesserung der atmosphärischen Maschine, S. 52. Bewegung, Verschiedenheit derselben, S. 3. Black's Lehre von der gebundenen Wärme S. 60. 64. Blasco de Garay, S. 26—27. Blenkinsop's Dampfwagen, S. 148. Bolton's Verbindung mit Watt, S. 75 Booth's Verbesserung des Röhrenkessels, S. 159. 289—90. Braithwaite's und Ericson's Dampfwagen, S. 158. Branca's Maschine, S. 29. Brunton's Verbesserung des Herdes, S. 116.

Cartwright's Verbesserungen der Dampfmaschine, S. 129 ff. Caus (Salomo de), S. 27. Cawley, S. 46. Chapman's Vorrichtung am Dampfwagen, S. 148. Church's Dampfwagen, S. 213. Cigarren-Boot auf dem Hudson, S. 240. Cohäsionskraft, S. 16—17. Cokes, gesetzlich vorgeschrieben für Dampfwagen, S. 171; ihr Verhältniß zu Kohlen, S. 229. Cokes aus Gasbeleuchtungs-Anstalten nachtheilig für Dampfmaschinen, S. 304. Condensation, S. 11; durch Einspritzung bei der atmosphärischen Maschine zufällig entdeckt, S. 50; Fester Körper, S. 15. Condensations-Me-

thode Watt's, S. 61. Cylinder, seine Verhältnisse, S. 268—269.

D=Ventil, S. 98. Dampf, seine Eigenschaften, S. 15; seine elastische Kraft, S. 19; seine mechanische Kraft in Verhältniß zu dem verdampften Wasser, S. 247 ff.; sein elastischer Druck, S. 248; sein Rauminhalt, S. 248; seine Wirkungskraft in Beziehung auf Feuerung, S. 249; seine Expansiv=Kraft, S. 250 ff. 256 ff.; seine mechanische Kraft durch Beispiele erläutert, S. 275. Dampfdruck, verschieden im Cylinder und im Kessel, S. 270. Dampfmaschine, bewegende Kraft in derselben, S. 3; ihre physischen Wirkungen, S. 3. Ansprüche auf die Erfindung derselben, S. 23 ff. Ihre Wirksamkeit als mechanisches Kraftmittel, S. 23; zuerst von Savery in Anwendung gebracht, S. 33. Benutzung derselben zur Hebung von Grubenwässern, S. 45. Newcomen's Erfindungen, S. 46. Verbesserungen durch Potter und Beighton, S. 52. Watt's erste Versuche zur Verbesserung der Dampfmaschine, S. 58. Seine einfach wirkende Maschine, S. 66; erstes Muster in Soho, S. 76. Unanwendbarkeit derselben in Fabriken, S. 78. Doppelt wirkende Maschine, S. 78 ff. Erfindung der Parallel=Bewegung, S. 82. Einführung der wälzenden (rotirenden) Bewegung, S. 86; des Schwungrades, S. 89; des Regulators, S. 91; der excentrischen Scheibe, S. 96; des Vierweg=Hahns, S. 101. Verhütung der Wasserverschwendung, S. 106. Doppelcylinder=Maschine, S. 121 ff. Erste Anwendung der Dampfmaschine auf Eisenbahnen, S. 138; auf Schifffahrt, S. 215 ff. Höchste Leistung einer Dampfmaschine, S. 275. Dampfschiffe, ihre mittlere Geschwindigkeit, S. 235; durchschnittlicher Feuerungsverbrauch, S. 236. Verhältniß ihrer Wirkungskraft zu ihrem Tonnengehalt, S. 237. Eiserne, S. 239. Dampfschiff auf dem Hudson und seine große Geschwindigkeit, S. 240. Dampfschifffahrt, S. 215. Frühere Geschichte derselben, 215—216. Ungläubigkeit in Beziehung auf dieselbe, S. 145. Gränze ihrer jetzigen Leistungsfähigkeit, S. 234 ff. Dampfwagen auf Eisenbahnen, S. 138 ff.; noch nicht

zur Vollkommenheit gelangt, S. 140. Kosten derselben in Vergleichung mit stehenden Maschinen, S. 153; überhaupt, S. 168. Fortschritte in der Verbesserung derselben, S. 163. Beschreibung einer verbesserten Form, S. 164. Ihre Wirksamkeit und die Umstände, wovon sie abhängt, S. 165; ihr Kessel und dessen Einrichtung, S. 160; ihr Feuerungsbedarf, S. 167; ihre Mängel, S. 167; Verbesserung ihrer Röhren, S. 169. Mittel, sie auf geneigten Ebenen fortzuschaffen, S. 174. 297 ff.; ihre außerordentliche Geschwindigkeit, S. 184—85; ihre Anwendung auf Heerstraßen, S. 191 ff.; die damit verbundenen Schwierigkeiten, S. 204. 208. 300 ff. Vorzüge derselben vor Pferden, S. 207. Versuche auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester, S. 166.

Edelcrantz's Sicherheits-Ventil, S. 112. Eisenbahn, erste Benutzung derselben für Dampfwagen, S. 138; wichtige Folgen dieser Anwendung, S. 142; eingebildete Schwierigkeiten, hinsichtlich der Fortschaffung von Wagen, S. 146; verschiedene Versuche, dieselben zu überwinden, S. 147 ff. Schwierigkeiten, die aus den Unebenheiten der Bahn hervorgehen, S. 172 ff. Nachtheile der Krümmungen, S. 283. Kostenanschläge für Eisenbahnen, S. 179; große Ausdehnung derselben in England, S. 186. Vergleichung derselben mit Heerstraßen, S. 191. Bahn zwischen Birmingham und London und ihre wahrscheinlichen Vortheile, S. 185; zwischen Liverpool und Manchester, S. 140. 152; ihr Einfluß auf den Verkehr, S. 142; Verfahren der Directoren bei dem Bau derselben, S. 153; ihre Dampfwagen, S. 290 ff. 294. 303; zwischen Leeds und Selby, S. 288; zwischen Leicester und Swannington, S. 288; zwischen Stockton und Darlington S. 292 ff. Eisenbahn-Anlagen, praktische Regeln für dieselben, S. 278 ff. Elastische Kraft des Dampfes, S. 19. 248. Expansion, S. 8. Expansion des Dampfes mit Condensation verbunden, S. 256. Expansiv-Maschine, S. 254.

Farey's Urtheil über die Leistungsfähigkeit verschiedener Dampfmaschinen, S. 119. Feste Körper in Flüssigkeiten verwandelt, S. 11—12. Feuerherd in Dampfmaschinen, S. 113 ff.

Feuer=Oberfläche, S. 262. Feuerung, Vorkehrungen, die Verschwendung derselben zu verhüten, S. 114 ff. Feuerungs=Bedarf in verschiedenen Maschinen, S. 163. Flüssigkeiten, Eigenschaften derselben, S. 5; in Dampf verwandelt, S. 11; Temperatur=Verschiedenheit derselben, S. 18 f. Flüssigwerden fester Körper, S. 12 f. Fulton, S. 216—17.

Geneigte Ebene, ihr nachtheiliger Einfluß, S. 173. 297 ff. Guericke, S. 54. Gurney's Dampfwagen, S. 194 ff.

Hackworth's Dampfwagen, S. 157. Hall's Condensator, S. 222; dessen Vortheile für die Schifffahrt, S. 224—25. Hancock's Dampfwagen, S. 209. Herd mit Röhren, dessen Vortheile, S. 162. Heerstraßen, Widerstand auf denselben, S. 192—93; mit Eisenbahnen verglichen, S. 191. Hero von Alexandria, S. 25—26. Hochdruck, seine Expansiv=Wirkung, S. 257. Hochdruck=Maschine, S. 133. Hornblower's Doppelcylinder=Maschine, S. 121. Howard's Dampfmaschine, S. 226 ff.; ihre Vortheile für die Schifffahrt, S. 229. Hubzähler, S. 274.

Indien, durch Dampfschifffahrt mit England verbunden, S. 241 ff.

Kanäle, Transport auf denselben, S. 187; verglichen mit Eisenbahnen, S. 189. Kaltwasser=Pumpe, S. 73. Kessel, S. 103 ff. 267 ff; Bestimmung der Wasserhöhe in demselben, S. 103 ff.; Speisung desselben durch die Maschine, S. 105; seine Kraft und seine Verhältnisse, S. 268; in Dampfwagen auf Heerstraßen, S. 193 f. 200 f. Kolben, Geschwindigkeit desselben, S. 271—72. Kraft der Dampfmaschine, S. 260. Krümmungen auf Eisenbahnen, S. 286.

Leistung einer Dampfmaschine, S. 260. 273. Leistungsberichte aus Cornwall, S. 273 f. Leupold's Ventil, S. 101; seine Dampfmaschine, S. 134. Liederung, S. 131. Locomotiven, s. Dampfwagen. Luftleerer Raum, Entstehung desselben, S. 21. Luftzug im Rauchfang, S. 161. 296.

Morgan's Schaufelrad, S. 232. Morland's Benutzung des Dampfes zum Wasserheben, S. 31. Murray's Ventilsystem, S. 95. 97 ff.

Newcomen's Erfindung, S. 46; Beschreibung seiner atmosphärischen Maschine, S. 47. Novelty, S. 158. 162.

Ogle's Dampfwagen, S. 212. Oldham's Feuerherd, S. 118.
Papin's Benutzung des atmosphärischen Druckes, S. 31; seine Dampfmaschine, S. 55. Parallel-Bewegung, S. 82. Personenverkehr, wichtiges Erfoderniß für Eisenbahnen, S. 281; durchschnittliche Berechnung desselben, S. 281. Pferdekraft mit Dampfkraft verglichen, S. 182 ff. Pferdekraft einer Maschine, S. 261; Berechnung derselben, S. 261 ff. 291; Maß des Dampfes für dieselbe, S. 268. Pferdeleistung als Fortschaffungsmittel, S. 180. Potter's Erfindung, S. 52.
Quecksilber-Visier, S. 108.
Rauchfang und sein Luftzug, S. 161. 286. Regulator, S. 91. Roebuck's Verbindung mit Watt, S. 74. Rocket, S. 153 ff.; seine Vorzüge, S. 159—60. Rotirende Bewegung bei Dampfmaschinen, S. 86.
Sanspareil, S. 157. Sauerstoff, mit der Feuerung verbunden, S. 268. Savery entdeckt das Prinzip der Condensation des Dampfes, S. 33; seine erste Maschine, S. 35; Beschreibung derselben, S. 35 ff.; ihre Unwirksamkeit, S. 42. 45; ihr großer Feuerungsbedarf, S. 44; ihre verschiedene Bestimmung, S. 45; beschränkte Wirkung derselben, S. 53. Schaufelrad, S. 230. Schiff-Dampfmaschine, S. 218. Schmelzpunkt, S. 12—13. Seewasser, dessen Nachtheile für den Kessel, S. 219; deren Abhilfe, S. 220. Smeaton's Verbesserung der atmosphärischen Maschine, S. 57. Sonnen- und Planeten-Rad, S. 87. Stephenson's Dampfwagen, S. 150. 152. 184; seine Vorrichtung bei der Abtheilung des Herdkanals, S. 162. Steigungen, nachtheilige, S. 284—85. Steinkohlen aus Llangenech, S. 237.
Thermometer, S. 8—9. Thierfüße, mechanische, zur Forttreibung von Wagen auf Eisenbahnen, S. 148 ff. Trevithik's und Vivian's Hochdruck-Maschine, S. 135. Tunnel, dessen Nachtheile auf einer Eisenbahn, S. 286 ff.
Ventil, konisches, S. 91. Ventil-Steuerung nach Watt, S. 93. Verdampfung, S. 11. Vereinigte Staaten, durch Dampfschifffahrt mit England verbunden, S. 244. Vierweg-Hahn, S. 101.

Wagenzüge auf Eisenbahnen, S. 294. Walker's und Rastrick's Schätzung der Leistung der Dampfwagen, S. 170. Wärme, Eigenschaften derselben, S. 8; gebundene oder latente, S. 16. 60. Warmwasser-Pumpe, S. 73. Washborough's Patent auf die von Watt erfundene Methode einer rotirenden Bewegung, S. 87. Wasser, dessen Verwandlung in Dampf, S. 246 ff. Wasserverschwendung in Dampfmaschinen, S. 106. Watt's wichtige Entdeckungen, S. 24; erste Versuche, S. 57; spätere Verbesserungen, S. 60; er führt die abgesonderte Condensation ein, S. 61; die Luftpumpe, S. 62; seine erste Maschine, S. 74; sein Patent, S. 75; dessen Verlängerung, S. 75; seine sinnreiche Erfindung zur Bestimmung seines Gewinnantheils, S. 76; die Parallel-Bewegung, S. 82, und der Regulator, S. 91, seine Erfindungen. Woolf's Verbesserungen der Dampfmaschine, S. 124 ff.; seine Doppelcylinder-Maschine, S. 124; seine theoretischen Irrthümer, S. 124; praktische Vortheile seiner Erfindung, S. 127—28. Worcester's Erfindung, S. 29—30; Aehnlichkeit derselben mit Savery's Maschine, S. 30.

Zugkraft auf Eisenbahnen, S. 172; auf einer Ebene, S. 173; auf einer schiefen Fläche, S. 173; auf Heerstraßen, S. 300. Zug-Oberfläche, S. 262.

Erster Abschnitt.

Einleitende Bemerkungen.

1.

Unter den von der Natur zur Befriedigung der Bedürfnisse des Menschen bestimmten Erzeugnissen gibt es nur wenige, die in dem Zustande, wie die Erde sie darbietet, jenen Bedürfnissen angemessen sind, und mit Ausnahme der atmosphärischen Luft werden wir kaum ein anderes finden; denn auch das Wasser muß in den meisten Fällen aus Bächen oder Behältern herbeigeleitet werden, und selbst die Nahrungsmittel bedürfen fast in jeder Form der Kultur und der Zubereitung. Wenn wir aber von den einfachen Erhaltungsmitteln des physischen Daseins zu den Bedürfnissen und Wünschen des gesitteten Lebens hinaufsteigen, ohne noch von feineren Genüssen zu reden, so werden wir finden, daß alles, was zu unserer Bequemlichkeit beiträgt oder unserm Vergnügen dient, einen vorläufigen bedeutenden Aufwand von Arbeit verlangt. In den meisten Fällen erhalten die Gegenstände unserer Genüsse ihre Vorzüge nicht von Eigenschaften, die den natürlichen Substanzen, aus welchen sie hervorgehen, ursprünglich angehören, sondern von Eigenschaften, die menschliche Arbeit und menschliche Geschicklichkeit ihnen gegeben haben. Bei allen Veränderungen, welche die rohen Erzeugnisse der Erde erleiden müssen, um für unsere Bedürfnisse zu passen, ist eine der vorzüglichsten Wirkungskräfte die Bewegung. So fodert z. B. die Zubereitung der Baumwolle zu unserer Kleidung die Anwendung bewegender

Kräfte, die zuerst auf den Boden, dann auf die Pflanze, endlich auf die Reinigung, das Kämmen, Schlichten, Spinnen und Weben der Baumwolle angewendet werden müssen.

In dem rohen Zustande der menschlichen Gesellschaft werden die zu den einfachen Manufakturen erfoderlichen Bewegungskräfte durch die unmittelbare Anwendung der Hand gegeben. Beobachtung und Nachdenken aber zeigten bald leichtere und wirksamere Mittel zur Erreichung derselben Zwecke. Man suchte zuerst in den Kräften der Thiere eine Erleichterung der menschlichen Arbeit, bis weiteres Nachdenken und Forschen noch bessere Mittel an die Hand gaben. Sehen wir uns in der Natur um, so erblicken wir leblose Gegenstände, in welchen verschiedene, vorzüglich durch Bewegung hervorgebrachte Wirkungen vorgehen. Wir sehen Wasserfälle, den Lauf der Ströme, das Steigen und Fallen des Meeres, die Strömungen in der Atmosphäre, und es muß alsbald die Frage entstehen, ob wir nicht, statt die Mittel unseres Unterhalts mit den Thieren zu theilen, deren Kräfte wir benutzen, eben so gut und noch wirksamer die erfoderlichen bewegenden Kräfte aus den verschiedenen Naturerscheinungen ziehen könnten. Es tritt uns aber hier bald eine Schwierigkeit entgegen. Wir brauchen eine Bewegung besonderer Art, aber der Wind weht nicht, das Wasser fällt nicht, wie wir es gerade wollen oder wie es zu unseren besondern Bedürfnissen paßt, sondern nach festen Naturgesetzen. Wir brauchen eine aufwärts gehende Bewegung, und das Wasser geht abwärts, wir wünschen eine kreisförmige Bewegung, und der Wind geht in gerader Richtung. Die bewegenden Kräfte, wie sie in ihrem natürlichen Zustande sich vorfinden, müssen daher nach unsern Absichten verändert werden, und die Mittel, durch welche solche Veränderungen hervorgebracht werden, heißen M a s c h i n e n. Eine Maschine ist daher ein Werkzeug, das vermittelnd zwischen irgend einer natürlichen Kraft oder Bewegung und dem Gegenstande steht, auf welchen jene Kraft oder Bewegung angewendet werden soll. Sie verändert vermöge ihrer Einrichtung die auf sie wirkende natürliche Bewegung in der Art,

daß sie dem zu bewegenden Gegenstande jene besondere Art der Bewegung mittheilt, die er gerade haben soll. Nehmen wir an, es sei eine kreisförmige oder wälzende (rotirende) Bewegung erfoderlich und die einzige uns zu Gebote stehende bewegende Kraft sei ein senkrechter Wasserfall, so stellen wir auf die Achse, die eine Wälzbewegung erhalten soll, ein Rad, das an seinem Rande mit Höhlungen versehen ist, lassen das Wasser auf den oberen Theil des Rades in die Höhlungen oder Schaufeln auf der andern Seite hinabfallen, wo dann das Gewicht des Wassers das Rad niederdrückt, während die Höhlungen auf der andern Seite leer sind und eine umgekehrte Richtung haben. Bei dem Umdrehen des Rades gießen die Höhlungen der absteigenden Seite ihren Inhalt aus, wenn sie den untersten Punkt errreichen und steigen auf der andern Seite leer empor. So drückt das Wassergewicht stets eine Seite des Rades nieder, wogegen die andere unbeschwert ist, und es entsteht eine fortgesetzte wälzende Bewegung.

Bei jeder Maschine kommen drei Punkte in Betrachtung, die bewegende Kraft, die Beschaffenheit der Maschine selbst, und endlich der Gegenstand, auf welchen die Bewegung wirken soll. Bei der Dampfmaschine entsteht die bewegende Kraft aus gewissen Erscheinungen, die hervortreten, wenn Wärme auf Flüssigkeiten wirkt, aber bei der Einrichtung und der Anwendung der Maschine sind verschiedene physische Wirkungen thätig, welche wir vollkommen kennen müssen, wenn wir das Wesen der Maschine oder ihre Wirkungsart begreifen wollen.

2.

Die mit der Wirksamkeit der Dampfmaschine innig verbundenen physischen Wirkungen sind gewisse mechanische Eigenschaften der Atmosphäre, jener dünnen und durchsichtigen Flüssigkeit, in welcher wir leben und die eingeathmet das thierische Leben erhält. Diese Flüssigkeit ist dem Anscheine nach so leicht und verdünnt, daß man anfangs bezweifeln möchte, ob sie wirklich ein Körper sei. Es mag daher man=

chen überraschen, wenn die Behauptung ausgesprochen wird, daß sie nicht nur ein Körper, sondern auch ein Körper von beträchtlichem Gewicht ist. Wir können beweisen, daß sie auf jeden Quadratzoll*) Oberfläche mit einem Gewichte von ungefähr vierzehn Pfund drückt.

3.

Man fülle eine über 32 Zoll lange Glasröhre AB (Fig. 2), die an dem Ende A offen und an dem andern Ende B verschlossen ist, mit Quecksilber und ebenso das gläserne Gefäß C. Dann halte man den Finger auf A, um das Auslaufen des Quecksilbers zu verhüten, kehre die Röhre um und tauche das mit dem Finger verschlossene Ende in das Quecksilber des Gefäßes C. Ist das Ende der Röhre unterhalb der Oberfläche des Quecksilbers, so ziehe man den Finger zurück, und man wird sehen, daß das Quecksilber in der Röhre nicht, wie man vermuthen könnte, auf das Niveau des Quecksilbers in dem Glasbehältnisse C fällt, was geschehen würde, wenn das Ende B offen wäre, um die Luft in den oberen Theil der Röhre einströmen zu lassen. Das Niveau des Quecksilbers D in der Röhre (Fig. 3) wird gegen 28 pariser Zoll über der Quecksilber-Oberfläche in dem Glasbehältnisse stehen.

4.

Die Ursache dieser Erscheinung ist, daß der Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche des Quecksilbers C in dem Behältnisse wirkt und es aufwärts drückt oder vielmehr dem Fallen des Quecksilbers in der Röhre entgegen wirkt, und da das Fallen nicht durch den atmosphärischen Druck auf die Oberfläche D in der verschlossenen Röhre begünstigt werden kann, so folgt, daß so viel Quecksilber in der Röhre über der Oberfläche C bleibt, als der Druck der Atmosphäre zurückhalten kann. — Nehmen wir an, daß der Abschnitt

*) Ein Viereck, von welchem jede Seite einen Zoll mißt, wie ABCD Fig. 1.

der Röhre einem Quadratzoll gleich sei, so wird das Gewicht der Quecksilbersäule in der Röhre über dem Punkte C genau dem Drucke der Atmosphäre auf jeden Quadratzoll der Oberfläche C gleich sein. Da nun die Höhe des Punktes D über C 28 Zoll beträgt und eine etwa zwei Zoll hohe Quecksilbersäule mit einer Grundfläche von einem Quadratzoll ungefähr ein Pfund schwer ist, so folgt, daß das Gewicht, mit welchem die Atmosphäre auf jeden Quadratzoll einer ebenen Oberfläche drückt, 14 Pfund beträgt. Ein Apparat, der mittels einer Scala die Höhe des Punktes D über dem Punkte C anzeigt, ist der gewöhnliche Barometer. Der Unterschied zwischen jenen Punkten ist einer geringen Veränderung unterworfen, welche eine entsprechende Veränderung in dem atmosphärischen Drucke anzeigt. Wir nehmen jedoch 28 Zoll als Durchschnitt an.

5.

Es ist eine Eigenheit von Flüssigkeiten, daß sie nach allen Richtungen einen gleichen Druck ausüben, und auch der Luft ist dieß wie jeder andern Flüssigkeit eigen. Daraus geht hervor, daß, da der abwärts gehende Druck oder das Gewicht der Atmosphäre 14 Pfund auf den Quadratzoll ist, auch der Druck seitwärts, aufwärts und in schräger Richtung eben so viel beträgt. Abgesehen von dem allgemeinen Grundsatze läßt sich dieß auch auf dem Wege eines Versuchs darthun. Man nehme vier Glasröhren von hinreichender Länge ABCD (Fig. 4), die an den Enden ABCD geschlossen, an den andern offen sind. Die offenen Enden von drei derselben seien gebogen, wie die Röhren BCD. Hat man sie mit Quecksilber gefüllt, so wende man sie vorsichtig um, daß die verschlossenen Enden sich oben befinden, wie Fig. 4 zeigt, und man wird sehen, daß das Quecksilber in allen sich hält*) und der Unterschied des Niveaus in allen derselbe ist. Das Quecksilber wird in A durch den aufwärts gehenden Druck

*) Der Versuch mit der Röhre A muß sehr sorgfältig gemacht werden und die Höhlung derselben einen kleinen Durchmesser haben.

der Atmosphäre gehalten, in B durch horizontalen oder seitlichen Druck, in C durch abwärts gerichteten, in D durch schrägen, und da der Niveau-Unterschied in allen derselbe ist, so wird der Druck überall gleich sein.

6.

In dem unter 3 beschriebenen Versuche ist der Raum B D (Fig. 3) am obern Ende der Röhre, von welchem das Quecksilber abwärts gefallen ist, vollkommen leer, enthält weder Luft, noch eine andere Flüssigkeit und heißt daher eine Leere, oder von Toricelli, dem Erfinder des Barometers, die Toricellische Leere. Hat man aber etwas Luft in diesen Raum eingelassen, so wird sie sogleich einen Druck auf D ausüben, worauf denn der Punkt D abwärts geht und fortfährt zu fallen, bis die Quecksilbersäule C D so weit vermindert ist, daß das Gewicht der Atmosphäre hinreicht, sie zu tragen, so wie den Druck, den die in dem Raume B D enthaltene Luft auf dieselbe ausübt. Die Quecksilbermenge, welche in diesem Falle in der Röhre niederfällt, ist nothwendig ein Ersatz für den Druck der eingedrungenen Luft, so daß der Druck dieser Luft genau ausgemittelt werden kann, wenn man ungefähr ein Pfund auf den Quadratzoll für zwei Zoll des Quecksilbers annimmt, das in der Röhre gefallen ist. Der Druck der Luft oder jeder andern Flüssigkeit über dem Quecksilber in der Röhre ist auch auszumitteln durch Vergleichung der Höhe des Quecksilbers in der Röhre mit der Barometerhöhe. Die Differenz der Höhen wird immer den Druck auf die Oberfläche des Quecksilbers in der Röhre bestimmen. Die Wichtigkeit dieses Grundsatzes wird bei der Betrachtung der Wirksamkeit der Dampfmaschinen hervorgehen.

Die Luft, welche nach unserer Voraussetzung in den obern Theil der Röhre eingedrungen ist, drückt auf die Oberfläche des Quecksilbers mit einer Kraft, die weit größer als ihr Gewicht ist. Wäre zum Beispiel der Raum BD (Fig. 3) mit atmosphärischer Luft in ihrem gewöhnlichen Zustande gefüllt, so würde sie auf die Oberfläche D einen Druck ausüben, welcher dem ganzen Drucke der Atmosphäre gleich

wäre, obgleich ihr Gewicht nicht einen Gran betragen möchte. Die Eigenschaft, durch welche die Luft diesen Druck ausübt, ist ihre Elasticität, und diese Kraft vermindert sich genau in dem Verhältnisse, in welchem der Raum, den die Luft einnimmt, vergrößert wird. So wissen wir, daß atmosphärische Luft in ihrem gewöhnlichen Zustande auf die Oberfläche eines Gefäßes, worin sie eingeschlossen ist, einen Druck ausübt, der ungefähr 14 Pfund auf jeden Quadratzoll beträgt. Ist der Inhalt des Gefäßes, worin sie sich befindet, doppelt so groß, so dehnt sie sich alsbald aus und füllt den doppelten Raum, verliert aber dabei die Hälfte ihrer elastischen Kraft, und drückt nur mit einem Gewicht von 7 Pfund auf jeden Quadratzoll. Ist der Inhalt des Gefäßes fünffach vergrößert worden, so würde die Luft gleichfalls so sehr ausgedehnt werden, daß sie es ausfüllte, aber nur den fünften Theil ihres ursprünglichen Drucks von fast 3 Pfd. auf den Quadratzoll ausüben. Dieser Verlust an elastischer Kraft bei der Vermehrung ihres Volumens oder ihres Umfangs ist nicht der Luft allein, sondern allen elastischen Flüssigkeiten eigen, daher wir sie auch bei dem Dampfe finden, und es ist unumgänglich nothwendig, darauf zu achten, um die Wirkungen dieser Kraft zu ermessen.

7.

Es gibt unzählige Beispiele der Wirkungen jener Eigenschaften der atmosphärischen Luft, die sich der gewöhnlichen Beobachtung aufdringen. Verstopft man die Röhre und das Klappenventil eines Blasebalgs, so wird eine bedeutende Kraft erfodert, um die Breter von einander zu trennen. Diese Wirkung entsteht aus der verminderten elastischen Kraft der zwischen den Bretern noch befindlichen Luft bei der geringsten Vergrößerung des Raumes innerhalb des Blasebalgs, während die Atmosphäre mit unverminderter Kraft auf die äußeren Oberflächen der Breter drückt. Werden die Breter so von einander getrennt, daß der innere Raum verdoppelt wird, so wirkt die eingeschlossene Luft mit einem Gewicht von ungefähr 7 Pfund auf jeden Quadratzoll, während der Druck

auf die äußeren Oberflächen 14 Pfund auf jeden Quadratzoll beträgt, und es wird daher eine eben so große Kraft erfodert, die Breter in einer solchen Lage zu erhalten, als nöthig sein würde, sie von einander zu trennen, wenn jedes Bret gegen das andere mit einem Druck von 7 Pfund auf den Quadratzoll ihrer äußeren Oberflächen getrieben würde. — Drückt man ein Stück feuchtes Leder so fest anf einen Stein, daß sich zwischen beiden ein luftleerer Raum befindet, so kann selbst ein schwerer Stein mittels einer an dem Leder befestigten Schnur aufgehoben werden, weil der atmosphärische Druck das Leder und den Stein zusammenhält.

8.

Wenden wir uns nun zu der Erklärung der physischen Wirkungen, die entstehen, wenn Körpern Wärme mitgetheilt oder entzogen wird.

Wird einem Körper Wärme mitgetheilt, so ist im Allgemeinen eine Vergrößerung des Umfangs die unmittelbare Folge, und zu gleicher Zeit fühlt der Körper sich wärmer an. Man hat diese beiden stets mit einander eintretenden Wirkungen, Ausdehnung und Wärmevermehrung, benutzt, die eine mittels der andern zu messen, und darauf beruht die Einrichtung des Thermometers, der bekanntlich aus einer Glasröhre besteht, welche sich in eine Kugel endigt, die in Verhältniß zu dem Durchmesser der innern Höhlung der Röhre von beträchtlicher Größe ist. Die Kugel und ein Theil der Röhre werden mit Quecksilber oder einer andern Flüssigkeit (Weingeist) gefüllt, worauf das Ende der Röhre zugeschmelzt wird. Bringt man nun die Kugel mit irgend einer Wärmequelle in Berührung, so erhält das darin befindliche Quecksilber einen höhern Wärmegrad und nimmt zu gleicher Zeit einen größern Raum ein oder wird ausgedehnt, und da der Umfang der Kugel nicht hinlänglich ist, das ausgedehnte Quecksilber zu fassen, so steigt dieses in der Röhre empor, und das Maß der Ausdehnung wird durch die Beobachtung des Steigens der Quecksilbersäule bestimmt. Der Wärme oder der Kälte ausgesetzt, wird der Thermometer Abwech-

selungen zeigen und die Quecksilbersäule in der Wärme steigen, in der Kälte fallen.

Zur genauen Bestimmung dieses Steigens und Fallens dient die nach Graden eingetheilte Scala, die bei den verschiedenen Arten des Thermometers verschieden ist. Im Allgemeinen bezeichnet sie die Theile eines Raumes zwischen zwei stets gleich weit von einander entfernten Punkten. Taucht man die Kugel in schmelzendes Eis, so fällt das Quecksilber bis auf einen gewissen Punkt, wo es dann unverändert stehen bleibt; bringt man die Kugel in siedendes Wasser, so erreicht die Quecksilbersäule eine gewisse Höhe, wo sie gleichfalls ihren Stand behält; da aber der durch den Barometerstand bezeichnete jedesmalige Luftdruck das Sieden des Wassers verzögert oder beschleunigt, so muß bei der Bestimmung dieses Punktes eine bestimmte Barometerhöhe beachtet werden, die bei den verschiedenen Thermometern zu 27 bis 28 pariser Zoll angenommen wird. Jene beiden festen Punkte sind der natürliche Eispunkt und der Siedepunkt*). Der Wärmegrad wird nach der Höhe bestimmt, zu welcher das Quecksilber in der Röhre steigen würde, wenn es dieselbe Temperatur hätte.

9.

Die mit der Erhöhung der Temperatur verbundene Ausdehnung ist eine der allgemeinsten Wirkungen der Wärme.

*) Der Raum zwischen beiden Punkten wird bei den drei gewöhnlichen Thermometerarten auf verschiedene Weise getheilt. Réaumur's Thermometer theilt ihn in 80, der in Frankreich und Deutschland immer mehr von den Naturforschern gebrauchte Hunderttheilige in 100 Grade; beide setzen den Eispunkt auf 0, den Siedepunkt jenes auf 80, dieses auf 100 Grad. Fahrenheit's Thermometer, in England gewöhnlich, zählt 180 Grade vom Eispunkt unter 32° bis zum Siedepunkt unter 212°. Unter dem natürlichen Eispunkt zählt es bis auf Null zum künstlichen, der durch die Eintauchung in eine Mischung von Schnee und Salmiak bestimmt wird. Bei der ersten Erfindung der Thermometer wurde dieser künstliche Punkt nach der falschen Voraussetzung angenommen, daß die Temperatur jener Mischung die möglich niedrigste sei.

Sie ist jedoch verschieden in verschiedenen Körpern, am geringsten in festen, größer in flüssigen, am größten in luftförmigen Körpern. Auch feste Körper aber sind dieser Ausdehnung in verschiedenem Grade fähig. Metalle sind in dieser Hinsicht am empfänglichsten, aber Metalle verschiedener Art werden auf verschiedene Weise durch Wärme ausgedehnt. Wie eine Erhöhung des Wärmegrades eine Ausdehnuug des Körpers im Raume hervorbringt, so verursacht eine Veränderung der Temperatur eine damit in Verbindung stehende Verminderung des Volumens, und immer hat derselbe Körper bei gleicher Temperatur gleichen Umfang. Eine schlaffe, nur wenig Luft enthaltende und fest verschlossene Blase wird bei der Erwärmung sich ausdehnen, aber wieder schlaff wernen, sobald sie der Kälte ausgesetzt ist. Eine zugestöpselte Flasche mit gegohrenem Getränke wird in der Nähe des Feuers durch die Wirkung der darin enthaltenen, bei der Erwärmung ausgedehnten Luft zerspringen.

Man stelle die Röhre A B (Fig. 5), die an beiden Enden offen ist, mit einem Ende in das Gefäß C D, das eine gefärbte Flüssigkeit enthält, deren Oberfläche mit der atmosphärischen Luft in Berührung steht, und schließe das in dem Gefäße stehende Ende luftdicht ein. Erhitzt man nun das Gefäß, so wird die darin enthaltene warme Luft über der Flüssigkeit sich auszudehnen anfangen und so sehr auf die Oberfläche der Flüssigkeit drücken, daß diese in der Röhre A B aufsteigt. Bei Brücken oder andern eisernen Bauwerken werden mechanische Vorrichtungen angebracht, um einen Bruch oder eine Spannung zu verhüten, wenn das Metall bei dem Wechsel der Temperatur in verschiedenen Jahreszeiten, selbst in verschiedenen Stunden des Tages, sich ausdehnt oder zusammenzieht. So wird in der ganzen belebten und unbelebten, organischen und unorganischen Natur unaufhörlich Wärme geathmet, indem sie dieselbe in dem einen Augenblicke in allen ihren Dimensionen aufnimmt, in dem andern aber wieder abgibt.

10.

Die Veränderung des Volumens aber ist nicht die einzige und nicht die auffallendste Wirkung, welche die Zunahme oder die Verminderung der Wärmemenge in einem Körper begleitet. In einigen Fällen wird eine gänzliche Veränderung der Form und der mechanischen Eigenschaften dadurch hervorgebracht. Wird einem festen Körper in hinlänglicher Menge Wärme mitgetheilt, so verwandelt er sich nach einer gewissen Zeit in eine Flüssigkeit, und wenn wieder diese Flüssigkeit hinlänglich erwärmt wird, so bleibt sie nicht in dem tropfbar flüssigen Zustande, sondern geht in die Form des Dampfes über. Durch Entziehung der Wärme wird eine Reihe von Veränderungen in entgegengesetzter Ordnung hervorgebracht. Wird dem Dampfe eine hinlängliche Wärmemenge entzogen, so kehrt er in den flüssigen Zustand zurück, und wird dieser Flüssigkeit Wärme genommen, so nimmt sie endlich wieder ihren ursprünglicheu festen Zustand an. Der Uebergang eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Zustand durch Einwirkung der Wärme wird *Flüssigwerden* oder *Schmelzen* genannt, der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand *Gefrieren* oder *Festwerden*, der Uebergang aus dem tropfbar flüssigen Zustand in den dunstförmigen *Verdampfung* oder *Verdünstung**), der Uebergang des Dampfes in den flüssigen Zustand endlich *Verdichtung* oder *Condensation*.

11.

Wir betrachten nun genauer die Umstände, welche jene merkwürdigen und wichtigen Veränderungen in dem Zustande des Körpers begleiten.

Nehmen wir an, ein Thermometer werde mit einem festen Körper, z. B. einer Masse Schwefel, in Berührung gebracht, bei dem Thermometerstande von 12° R. oder

*) Verdampfung, die bei dem Sieden statt findet, und Verdünstung oder die allmälige Bildung der Dämpfe, die an der Oberfläche der verdünstenden Körper geschieht, sind im Wesentlichen dieselben Erscheinungen.

60° Fahrenheit, und der in einem Gefäße befindliche Schwefel der Wirkung des Feuers ausgesetzt. Der Thermometer wird dann allmälig und fortdauernd steigen, bis es die Höhe von 90° R. erreicht. Hier aber wird, ungeachtet der fortdauernden Wirkung des Feuers auf den Schwefel, der Thermometer stehen bleiben, ein Beweis, daß trotz dem vom Feuer ausgehenden Wärmezufluß, der Schwefel aufgehört hat wärmer zu werden. In dem Augenblicke, wo der Thermometer jenen festen Stand erreicht, bemerkt man, daß der Schwefel angefangen habe zu schmelzen, und dieß dauert bei beständigem Thermometerstande fort, bis die ganze Masse flüssig geworden ist. Nach vollendeter Schmelzung wird man den Thermometer wieder steigen sehen und er steigt fortdauernd, bis es auf 239° R. steht. Hier aber erhält er wieder einen festen Stand, und ungeachtet des fortdauernden Wärmezuflusses, wird der flüssige Schwefel nicht wärmer. Nun siedet der Schwefel, und wenn er dem Feuer lange genug ausgesetzt wird, so vermindert er sich allmälig, bis er endlich aus dem Gefäße, worin er enthalten war, verschwindet. Er ist verdampft.

Aus diesen Erscheinungen geht hervor, daß alle während des Flüssigwerdens und der Verdampfung zugeführte Wärme verzehrt wird, um jene Veränderungen in dem Zustande des Körpers zu bewirken, und daß sie unter solchen Umständen den Wärmegrad des Körpers, welcher die Veränderung erleidet, nicht vermehrt. Diese Wirkungen sind allgemein, und alle festen Körper würden durch hinlängliche Anwendung von Wärme in den flüssigen, alle flüssigen durch dieselben Mittel in den dampfförmigen Zustand übergehen. In allen Fällen würde der Thermometer während dieser Veränderungen seinen Stand behalten und folglich die Temperatur des Körpers in jenen Zeitpunkten unverändert bleiben.

12.

Feste Körper sind verschieden hinsichtlich des Wärmegrades, bei welchem sie flüssig werden. Man nennt einen solchen Wärmegrad den Schmelzpunkt. So ist der Schmelz-

punkt des Blei's 250° R., des Goldes 2284° R.*) Die Wärme, welche einem Körper während der Schmelzung oder der Verdampfung zugeführt wird und nicht auf den Thermometer wirkt, nicht den Wärmegrad des schmelzenden oder verdampfenden Körpers erhöht, nennt man gebunden oder latent. Es läßt sich darthun, daß sie in dem schmelzenden oder verdampfenden Körper vorhanden ist und demselben sogar entzogen werden kann. Wenn sie einen Körper verläßt, so wird dessen Wärmegrad nicht vermindert und folglich der Verlust dieser Wärme eben so wenig als die Aufnahme derselben durch den Thermometer angezeigt. Der Ausdruck gebundene Wärme soll nur die Thatsache angeben, daß der Thermometer für die Gegenwart oder Abwesenheit dieses nicht nach außen wirkenden Wärmetheiles nicht empfindlich ist.

13.

Bei der Erklärung der Einrichtung und der Wirksamkeit der Dampfmaschine ist es zwar zuweilen nöthig, zu den Wirkungen der Wärme auf Körper überhaupt zurückzugehen; derjenige Körper aber, der vorzüglich beachtet werden muß, insofern die Wirkungen der Hitze auf denselben zu berücksichtigen sind, ist das Wasser. Dieser Körper kommt in 3 verschiedenen Zuständen vor, in dem festen, flüssigen und dampfförmigen, je nach den verschiedenen Wärmegraden, welchen er ausgesetzt ist. Alle in Beziehung auf die Metalle und den Schwefel insbesondere erklärten Umstände sind, mit den nöthigen Veränderungen, auch auf das Wasser anwendbar; um aber die Eigenschaften der Dampfmaschine vollkommen zu begreifen, ist es nöthig, jene Erscheinungen genauer zu betrachten, in so fern sie sich auf die Veränderungen beziehen, welche durch die Wirkungen der Wärme auf das Wasser hervorgebracht werden.

---

*) Wärmegrade über 282 R. können nicht mehr durch Quecksilber-Thermometer gemessen, sondern nur annähernd durch Pyrometer, die aus Metallstangen oder Thon (Wedgwood's Erfindung) bestehen, bestiwmt werden.

Legt man ein Stück Eis in eine Mischung von Schnee und gepulverten Salzkristallen, so wird es nach einiger Zeit die Temperatur derselben erhalten und ein damit in Berührung gebrachter Thermometer mit Fahrenheit's Scala auf dem künstlichen Eispunkt, und das achtzigtheilige auf — 14° fallen. Man nehme das Eis aus der Mischung und lasse den Thermometer bei der gewöhnlichen Temperatur der Atmosphäre von 60° F. oder 12° R. mit demselben in Berührung. Der Thermometer wird nach und nach und fortdauernd steigen, bis er den natürlichen Eispunkt, 32° Fahrenheit oder 0 Réaumur, erreicht. Dann wird er seinen Stand behalten und das Eis schmelzen, der Thermometer aber bis zur vollendeten Schmelzung stehen bleiben. Wenn das geschmolzene Eis und der Thermometer sich in demselben Gefäße befinden, so wird nach vollendeter Schmelzung der Thermometer wieder zu steigen anfangen und fortdauernd steigen, bis er die Temperatur der Atmosphäre erreicht hat. Das Eis oder Wasser hat bis jetzt einen Wärmezufluß von der umgebenden Luft erhalten, nun aber ist ein Gleichgewicht der Temperatur hergestellt, es kann kein Wärmezufluß mehr aufgenommen werden, und wenn wir die weiteren Wirkungen zunehmender Wärme untersuchen wollen, so müssen wir die Flüssigkeit dem Feuer oder einer andern Wärmequelle aussetzen. Der Thermometer bleibt während der Schmelzung des Eises auf seinem Stande hundert und vierzigmal so lange als die Wärme des Wassers im flüssigen Zustande um einen Grad nach Fahrenheit's Scala steigt, und um daher festes Eis in eine Flüssigkeit zu verwandeln, muß es von der umgebenden Atmosphäre hundert und vierzigmal so viel Wärme erhalten, als erfoderlich wäre, das flüssige Wasser um einen Wärmegrad zu erheben, oder es ist, um ein bestimmtes Gewicht Eis zu schmelzen, so viel Wärme nöthig als dasselbe Gewicht Wasser zu der Temperatur von 140° F. oder von 32° bis 172° erheben würde. Die bei der Schmelzung erlangte gebundene Wärme ist daher 140°.

14.

Bringen wir eine Weingeist-Lampe unter das bereits auf die Temperatur der Atmosphäre gestiegene Wasser, um

die Wirkungen eines weiteren Wärmezuflusses zu betrachten, so wird der Thermometer bei einer Barometerhöhe von 28 pariser Zoll steigen, bis es auf 80° R. steht. Hat er diesen Punkt erreicht, so steigt er nicht mehr, das Wasser wird daher nicht wärmer und zu gleicher Zeit werden auf dem Boden des Gefäßes, worin sich das Wasser befindet, zunächst der Weingeist-Flamme Blasen gebildet. Sie steigen im Wasser auf und verschwinden an der Oberfläche in der Luft. Das Wasser siedet. Während dieß geschieht, behält der Thermometer fortdauernd seinen Stand auf dem Siedepunkte; beobachtet man aber die dabei verfließende Zeit, so wird man finden, daß das Wasser gänzlich verdünsten wird, wenn dieselbe Wärmequelle $5\frac{1}{2}$ mal so lange auf dasselbe wirkt als nöthig war, es vom Eispunkte auf den Siedepunkt zu erheben; und wenn daher die Lampe eine Stunde wirken mußte, um den Wärmegrad des Wassers so hoch zu steigern, so wird sie auf das siedende Wasser $5\frac{1}{2}$ Stunde wirken müssen, um es völlig zu verdampfen. Wollte man nun den erlangten Dampf sorgfältig in einem Behältnisse auffangen, das die Temperatur von 80° R. behielte, so würde der Dampf diese und keine höhere Temperatur haben, aber einen beinahe siebzehnhundertmal größeren Raum füllen, als das Wasser im flüssigen Zustande einnahm, und eine elastische Kraft besitzen, die dem atmosphärischen Drucke gleich wäre, unter welchem das Sieden erfolgte, das heißt, er würde auf die Seiten des Gefäßes, worin er enthalten wäre, mit einem Gewichte drücken, gleich dem Gewichte einer 28 Zoll hohen Quecksilbersäule, oder ungefähr 14 Pfund auf jeden Quadratzoll.

15.

Berechnen wir die Wärmemenge, die erfoderlich war, das Wasser vom Eispunkte auf den Siedepunkt zu heben, nach Fahrenheit's Scala, so beträgt sie 180° als den Abstand zwischen jenen Punkten, und da die zur Verwandlung desselben Wassers in Dampf nöthige Wärme $5\frac{1}{2}$ mal so viel beträgt als jene, so folgt, daß der erfoderliche Wärmegrad, um ein bestimmtes Wassergewicht in Dampf zu verwandeln, sich fin-

den läßt, wenn man 180 mit $5\frac{1}{2}$ multiplicirt. Das Ergebniß ist 990°, und um daher eine bestimmte Wassermenge bei dem Sieden in Dampf von gleicher Temperatur bei einer Barometerhöhe von 28 Zoll zu verwandeln, würde eben so viel Wärme nöthig sein, als erfodert würde, dasselbe Wasser zu einer 990° höheren Temperatur zu heben. Diese Wärme, welche der Thermometer nicht anzeigen kann, ist eine gebundene, und man kann daher sagen, daß die zur Verwandlung des Wassers in Dampf erfoderliche gebundene Wärme bei dem angegebenen atmosphärischen Drucke 1000° in runder Zahl betrage.

16.

Alle eben angegebenen Wirkungen der Wärme lassen sich genügend erklären, wenn man annimmt, daß das Wärme-Prinzip den Atomen, aus welchem die Körper bestehen, eine Kraft mittheile, die ihnen das Streben gibt, einander abzustoßen. In Verbindung damit muß aber auch eine andere, gleichfalls in der Natur vorhandene Kraft beachtet werden, diejenige nämlich, die den Bestandtheilen der Körper eine Neigung mittheilt, zusammenzuhangen und sich zu festen Massen zu bilden, die Cohäsionskraft. Diese beiden Kräfte, der natürliche Zusammenhang der Körpertheilchen und die durch Wärme entwickelte Abstoßungskraft, sind einander gerade entgegengesetzt, und der Zustand eines Körpers wird entschieden durch das Vorwalten der einen oder der andern oder durch ihr gegenseitiges Gleichgewicht. Ist der natürliche Zusammenhang der Bestandtheile eines Körpers stärker als die durch die Wärme entwickelte abstoßende Kraft, so wird die Cohäsionskraft wirksam sein, die Bestandtheile werden sich innig vereinigen und als feste unveränderliche Masse zusammenhalten, so daß sie nicht durch die Wirkung ihres Gewichts aus einander fallen können. In solchen Fällen ist eine mehr oder minder beträchtliche Gewalt nöthig, um den Körper zu zerbrechen oder seine Theile zu trennen. Dieß ist was man den festen Zustand nennt. Ist dagegen die durch die Auwendung von Wärme entwickelte abstoßende Kraft dem natürlichen Zusammenhange der

der Körpertheilchen gleich oder beinahe gleich, so kann das Vorwalten der Cohäsionskraft unzulänglich sein, dem Streben der Theilchen, durch ihr Gewicht auseinander zu fallen, Widerstand zu leisten. In einem solchen Falle können die Bestandtheile eines Körpers nicht als eine feste Masse zusammenhangen, sondern werden sich vermöge ihrer Schwere von einander trennen und die Gestalt des Gefäßes annehmen, in welchem sich der Körper etwa befindet. Der Körper wird in die flüssige Gestalt übergehen. In diesem Zustande ist jedoch die Cohäsionskraft keineswegs ganz unwirksam; sie kann und wird in einigen Fällen in merklichem Grade vorhanden sein, wiewohl sie nicht stark genug ist, der besonderen Schwerkraft der einzelnen Theile Widerstand zu leisten. Die Neigung, welche die Theile flüssiger Körper in einigen Fällen haben, sich in Kügelchen zu vereinigen, zeigt deutlich das Vorwalten der Cohäsionskraft; Wassertropfen, die sich auf einer Fensterscheibe sammeln, die in der Atmosphäre verdichteten Regentropfen, die Thräne, die über die Wangen rinnt, die Quecksilber-Kügelchen, die über eine ebene Oberfläche gleiten und sich nicht leicht in kleinere Theilchen zerstreuen lassen, alles dieß sind nahe liegende Beweise der vorwaltenden Cohäsionskraft in flüssigen Körpern.

Durch gehörige Anwendung von Wärme kann selbst dieser geringe Grad von Cohäsionskraft besiegt und ein Uebergewicht der entgegengesetzten Abstoßungskraft herbeigeführt werden. Hier aber kommt ein anderer physischer Einfluß zu Hilfe und verbindet sich mit der Cohäsion, um dem Uebergange des Körpers aus dem flüssigen Zustande in den dampfförmigen zu widerstehen, und diese Kraft ist keine andere als der bereits erläuterte Druck der Atmosphäre. Dieser Druck hat die Neigung die Bestandtheile des Flüssigen zusammenzuhalten und ihrer Trennung zu widerstehen. Die abstoßende Kraft der aufgenommenen Wärme muß daher nicht nur die Cohäsionskraft neutralisiren, sondern auch den Bestandtheilen des flüssigen Körpers eine hinlängliche Elasticität oder abstoßende Wirksamkeit mittheilen, damit sie aus einander gehen und trotz dem

atmosphärischen Widerstande die Gestalt von Dämpfen annehmen können.

Wenn nun dieser atmosphärische Widerstand, aus natürlichen oder künstlichen Ursachen, irgend eine Veränderung hinsichtlich seiner Stärke erleide, so wird auch die Abstoßungskraft, welche durch die Wärme mitgetheilt werden muß, sich verhältnißmäßig verändern. Vermindert sich der atmosphärische Druck, so ist weniger Wärme nothwendig, die Flüssigkeit zu verdampfen; wird dagegen der Druck vermehrt, so ist eine größere Wärmemenge erfoderlich, dem Körper die nöthige Elasticität zu geben.

17.

Aus den dargelegten Gründen geht hervor, daß jede natürliche oder künstliche Ursache, die den Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche einer Flüssigkeit vermindert, die Wirkung hat, daß diese Flüssigkeit bei einer niedrigen Temperatur zum Sieden kommt, wogegen jede Vermehrung des atmosphärischen Drucks auf die Flüssigkeit es nothwendig macht, ihr einen höhern Wärmegrad mitzutheilen, ehe sie sieden kann.

Die Erfahrung bestätigt dieß. Bei einem Barometerstande von 28 Zoll, oder einem atmosphärischen Druck von 14 Pfund auf den Quadratzoll, siedet Wasser bei 80° R. Wenn aber Wasser bei einer niedrigern Temperatur, z. B. 65°, unter die Glocke einer Luftpumpe gestellt und ein luftleerer Raum hervorgebracht oder der atmosphärische Druck bedeutend vermindert wird, so siedet das Wasser, ungeachtet es die Temperatur von 65° behält.

Stellt man dagegen einen Thermometer luftdicht in den Deckel eines verschlossenen Digestors, welcher Wasser mit atmosphärischer Luft auf seiner Oberfläche enthält, so bekommt die Luft bei der Erwärmung des Gefäßes eine erhöhte Elasticität, drückt, durch den Deckel zurückgedrängt, mit verstärkter Kraft auf die Oberfläche des Wassers, und der Thermometer zeigt, so lange das Gefäß der Wärme ausgesetzt ist, ein bedeutendes Steigen über den Siedepunkt, und

würde fortdauernd steigen, bis das Gefäß nicht stark genug wäre, dem inneren Drucke zu widerstehen.

Ist der Barometerstand unter 28 Zoll, so siedet das Wasser unter allen Umständen überhaupt bei einer niedrigern Temperatur; ist er höher, so wird es erst bei einem höheren Wärmegrade zum Sieden gebracht werden. Je nach der größeren oder geringeren Wirksamkeit der Cohäsionskraft der Theilchen flüssiger Körper sieden diese bei einem höhern oder niedrigern Wärmegrade. Im Allgemeinen sieden die leichteren Flüssigkeiten, wie Aether und Alkohol, unter niedrigern Wärmegraden, jener bei 30°, dieser bei 64° R. Diese Flüssigkeiten würden bei bloßer Entfernung des atmosphärischen Druckes sieden, wie sich zeigt, wenn man sie unter die luftleere Glocke bringt. Wir dürfen daraus den Schluß ziehen, daß diese und ähnliche Körper ohne den atmosphärischen Druck nie in flüssigem Zustande vorhanden sein würden.

18.

Die Elasticität des aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dampfes ist gleich dem Drucke, unter welchem er hervorgebracht wird. So hat der Dampf, der aus Wasser bei dem Siedepunkte, und folglich unter einem Drucke von 14 Pfund auf den Quadratzoll, aufsteigt, eine elastische Kraft, welche auf alle Seiten eines Gefäßes, worin er enthalten wäre, gleichfalls einen Druck von 14 Pfund ausüben würde. Da nun ein vermehrter Druck der Atmosphäre eine erhöhte Temperatur zum Sieden verlangt, so folgt daß, wenn Dampf von höherem Druck als die Atmosphäre nöthig ist, das Wasser bei einer höheren Temperatur zum Sieden gebracht werden muß.

19.

Wir haben bereits dargethan, daß es einen gewissen Punkt gibt, bei welchem der Wärmegrad einer Flüssigkeit nicht mehr steigt, und daß alle über diesen Punkt hinaus ihr mitgetheilte Wärme zur Dampfbildung verwendet wird. Es ist ausgemittelt worden, daß, wenn Wasser unter 80° bei

einem Barometerstande von 28 Zoll siedet, ein Kubikzoll Wasser einen Kubikfuß*) Dampf gibt, dessen elastische Kraft dem atmosphärischen Drucke gleich ist und der die Temperatur von 80° hat. Da nun ein Kubikfuß 1728 Kubikzoll hat, so folgt, daß Wasser, wenn es unter jener Temperatur aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand übergeht, 1728 mal im Raum ausgedehnt wird.

20.

Wir haben gesehen, daß ungefähr 1000° Wärme nöthig sind, um eine bestimmte Wassermenge auf dem Siedepunkte in Dampf von gleicher Temperatur zu verwandeln, der mit 14 Pfund auf den Quadratzoll drückt. Daraus läßt sich abnehmen, daß, wenn die zur Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf erfoderliche Wärme entzogen würde, eine Reihe von Veränderungen entstehen müßte, die den bereits beschriebenen gerade entgegengesetzt wäre. Dieß ist in der That der Fall. Nehmen wir an, ein 1728 Kubikzoll enthaltendes Gefäß werde mit Dampf von 80° R. gefüllt, der mit einem Gewicht von 14 Pfund auf den Quadratzoll wirke. Wir bringen 5½ Kubikzoll Wasser auf dem Gefrierpunkt in jenes Gefäß, und augenblicklich wird der Dampf die bei der Verdampfung verwendete Wärme dem eingegossenen Wasser mittheilen und selbst wieder in flüssigen Zustand übergehen. Er kehrt zugleich in seinen ursprünglichen Rauminhalt von einem Kubikzoll zurück, und die Wärme, welche er abgibt, wird hinlänglich sein, die eingegossenen 5½ Kubikzoll Wasser auf die Temperatur von 80° zu bringen, und der Inhalt des Gefäßes wird nun 6½ Kubikzoll Wasser von 80° R. betragen. Ein Kubikzoll dieses Inhalts ist der wieder in Wasser verwandelte Dampf, der vorher das Gefäß füllte, und die übrigen 5½ Kubikzoll sind das Wasser, welches durch die vom Dampfe abgegebene Wärme

*) Ein gewöhnlicher Würfel hat die Form, die man Cubus nennt, ein Körper, der sechs einander gleiche Quadrate hat. Ist jede Seite einen Zoll lang, so erhalten wir einen Kubikzoll; ist sie einen Fuß lang, einen Kubikfuß. Fig. 6 zeigt eine perspektivische Ansicht.

auf den Siedepunkt gebracht wurde. Man bemerke, daß bei diesem Uebergange keine Wärme verloren gegangen ist, da der Kubikfuß Wasser, in welchen der Dampf sich verwandelt hat, denselben Wärmegrad zeigt, den jener vor dem Eingießen des kalten Wassers hatte. Dieß ist in vollkommener Uebereinstimmung mit den Ergebnissen, auf welche uns die Beobachtung der Zeit geführt hat, die erfoderlich ist, um eine bestimmte Wassermenge durch Anwendung von Wärme in Dampf zu verwandeln. Wir sehen, daß bei der Verwandlung einer bestimmten Dampfmenge in Wasser so viel Wärme abgegeben worden ist, als erfodert wird, um $5\frac{1}{2}$ Kubikzoll auf den Siedepunkt zu bringen.

21.

Es wird dabei eine Wirkung hervorgebracht, auf welche wir nothwendig unsere Aufmerksamkeit richten müssen. Der Dampf, der den Raum von 1728 Kubikzoll füllte, ist bei der Verwandlung in Wasser zu den Dimensionen von einem Kubikzoll zurückgekehrt, und es bleiben daher 1727 Kubikzoll des Gefäßes leer. Mittels dieser Eigenschaft wird der Dampf benutzt, einen luftleeren Raum hervorzubringen.

Wenn man Dampf durch ein Gefäß ziehen läßt, so kann man die Luft aus demselben entfernen und an ihre Stelle tritt Dampf. Wird das Gefäß dann verschlossen und abgekühlt, so verwandelt sich der Dampf in Wasser, und indem er in Tropfen auf den Boden und auf die Seiten des Gefäßes fällt, wird der Raum, den er vorher gefüllt hat, luftleer. Dieß läßt sich leicht durch einen Versuch nachweisen. Eine lange Glasröhre, die eine hohle Kugel an einem Ende hat und an dem andern offen ist*), wird mit etwas Weingeist gefüllt und alsdann die Kugel über eine Lampe gehalten, bis der Weingeist siedet. Nach einiger Zeit kommt der Dampf aus dem offenen Ende der aufrecht gehaltenen Röhre hervor. Geschieht dieß, so wende man die Röhre um und tauche das offene Ende in ein Gefäß mit kaltem Wasser. Da nun auf diese Weise

*) Eine gewöhnliche Glasflasche mit langem Halse kann dazu dienen.

die Wärme entzogen wird, so wird die kalte Luft den Dampf in der Röhre wieder in Flüssigkeit verwandeln, und es entsteht ein luftleerer Raum, in welchen der Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäße das Wasser hinauftreibt, das nun mit beträchtlicher Kraft einströmt und die Glaskugel füllt. Bei diesem Versuche gebraucht man lieber Weingeist als Wasser, weil er bei einer niedrigern Temperatur siedet, das Glas daher weniger dem Zerspringen ausgesetzt ist und die Röhre sich auch leichter handhaben läßt.

Zweiter Abschnitt.

Erste Schritte in der Erfindung der Dampfmaschine.

22.

In der Geschichte der Fortschritte nützlicher Künste und Manufakturen gibt es vielleicht keine andere Erfindung, um deren Ehre so lebhaft wäre gestritten worden, als die Dampfmaschine. Mehre Völker und verschiedene Personen unter demselben Volke haben Ansprüche darauf gemacht. Die Anhänger derjenigen, die sich um diese Ehre bewerben, haben solche Ansprüche mit einem Eifer verfochten, der zuweilen über die Gränzen der Bescheidenheit hinausgegangen ist, und der Streit ist nicht selten mit nationalen und persönlichen Vorurtheilen verflochten und mit einer Bitterkeit geführt worden, welche einer so edlen Sache ganz unwürdig und durchaus unter der Würde der Wissenschaft war.

Die Wirksamkeit der Dampfmaschine, als eine mechanische Kraft betrachtet, ist erstens durch die verschiedenen physischen Eigenschaften, aus welchen ihre Wirkung hervorgeht, und zweitens durch die mannigfaltigen mechanischen Vorkehrungen bedingt, welche jene Eigenschaften praktisch nutzbar machen. Muß das Verdienst der Erfindung demjenigen zugeschrieben werden, der solche Eigenschaften entdeckt und angewendet hat, so wird der Streit sich leicht entscheiden lassen, weil es offenbar ist, daß der Preis nicht einem einzigen gebührt, sondern unter mehre nach verschiedenen Verhältnissen vertheilt werden muß. Wenn aber derjenige den gegründet=

sten Anspruch auf die Ehre der Erfindung hat, der durch die Kraft seines mechanischen Genies der Maschine jene Form und jene Eigenschaften gab, welchen man ihren gegenwärtigen ausgebreiteten Nutzen verdankt und durch welche sie jene mächtig wirkende Kraft geworden ist, die ihren wohlthätigen Einfluß über alle Theile der gesitteten Welt verbreitet, dann wird das Menschengeschlecht durch einstimmigen Ruf den Preis einem Manne zuerkennen, der durch sein hohes Genie unter allen Mitbewerbern hervorragt und durch die Anstrengung seiner geistigen Kraft dieser Maschine erst die großen Wirkungen gegeben hat, welche sie zu einem wichtigen Gegenstande für jeden gemacht haben, dem die Fortschritte menschlicher Gesittung anziehend sind. Vor dem Zeitpunkte, den die Entdeckungen des Schottländers Jakob Watt bezeichnen, war die Dampfmaschine, die seitdem ein Gegenstand von so allgemeiner Theilnahme geworden ist, eine Maschine von sehr beschränkter Kraft und war weit unbedeutender als die meisten andern mechanischen Erfindungen, die als bewegende Kräfte benutzt wurden. Es ist kaum nöthig, zu zeigen, daß sie seit jener Zeit die Fortschritte des menschlichen Geschlechts gefördert hat. Da jedoch die Frage über die fortschreitende Entwickelung jener naturwissenschaftlichen Prinzipien, auf welchen die Dampfmaschine beruht, und über ihre mechanische Anwendung in der neuesten Zeit Wichtigkeit erlangt hat, sowohl durch die allgemeine Theilnahme, die man ihr zuwendet, als durch das Ansehen der Schriftsteller, welche sich damit beschäftigt haben, so halten wir es für angemessen, in gedrängter Kürze, aber unparteilich, die Schritte anzugeben, die nach und nach zu dieser Erfindung führten.

Die Maschine, wie wir sie jetzt benutzen, ist, genau genommen, nicht die alleinige Erfindung eines einzigen Menschen, sondern das Ergebniß einer Reihe von Entdeckungen und Erfindungen, welche in den letzten zwei Jahrhunderten sich gehäuft haben. Wenn wir in die Geschichte der Maschine zurückgehen und den ersten Erfinder anzugeben versuchen, so stoßen wir auf dieselben Schwierigkeiten, die wir finden, wenn wir die Quelle eines großen Flusses aufsuchen wollen. Fol=

gen wir seinem Laufe, so setzen uns die vielen ihm zufließenden Bäche in Verlegenheit und wir finden es unmöglich, zu bestimmen, welcher von jenen Armen als der Hauptstrom betrachtet werden müsse, und am Ende sehen wir zahlreiche Wasserfäden, deren jeder an sich so unbedeutend ist, daß er nicht würdig erscheint, für die Quelle des majestätischen Flusses angesehen zu werden, der unsere Forschbegierde gereizt hat.

Schon in sehr früher Zeit betrachtete man die Wirkungen der Wärme auf Flüssigkeiten und insbesondere die Erzeugung des Dampfes als eine wahrscheinliche Quelle mechanischer Kraft. Viele Forscher richteten ihre Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand und strengten ihren Erfindungsgeist an, eine bewegende Kraft darin zu finden. Nicht eher als zu Anfange des achtzehnten Jahrhunderts aber ward irgend eine Erfindung gemacht, die praktisch, wenn auch ohne Erfolg, wäre angewendet worden. Alle frühern Versuche waren entweder Plane, die bloß auf dem Papier gemacht wurden, oder Versuche, die sich auf Modelle beschränkten, oder wenn sie darüber hinausgingen, überlebten sie doch nie eine einzige Anwendung im Großen. Viele dieser Entwürfe und Versuche aber, die aufgezeichnet und späteren Forschern zugänglich gemacht wurden, gaben ohne Zweifel nützliche Winke und praktischen Beistand jenen glücklichern Erfindern, welchen es gelang, Maschinen in solchen Formen aufzustellen, daß sie im großen Maßstabe für mechanische Zwecke praktisch anwendbar waren. Es ist daher gerecht, an jene Bemühungen, obgleich sie verunglückten, hier zu erinnern, damit jeder seinen gebührenden Antheil an der Ehre dieser glänzenden Erfindung erhalte.

23.

Hero von Alexandria, der 120 vor Christus lebte, gibt in einem seiner zahlreichen Werke, das auf uns gekommen ist, Spiritualia genannt, die Beschreibung einer durch Wasserdampf bewegten Maschine. Eine hohle Kugel, von welcher A B (Fig. 7) einen Abschnitt zeigt, wird durch zwei Zapfen in A und B gestützt, die Enden der Röhren A C D

und B E F, welche in einen Kessel gehen, wo der Dampf erzeugt wird. Dieser Dampf strömt durch eine kleine Oeffnung an den Enden A und B und füllt die hohle Kugel. Einer oder mehr wagerechte Arme K G und I H treten aus der Kugel hervor und werden gleichfalls mit Dampf gefüllt, sind aber an ihren Enden verschlossen. An dem Ende G befinde sich auf einer Hälfte der Röhre eine kleine Oeffnung, aus welcher der in der Kugel und der Röhre eingeschlossene Dampf mit einer dem Drucke im Innern angemessenen Gewalt strömen würde. Nach den Gesetzen der Mechanik würde dabei eine Gegenwirkung hervorgebracht werden und die Röhre zurückprallen, wie eine Kanone beim Abfeuern. Da nun der Arm K G in einer Richtung gedrückt würde, die derjenigen, nach welcher der Dampf ausströmte, entgegengesetzt wäre, so würde die Kugel sich umdrehen und zwar so lange als der Dampf aus der Oeffnung bei G strömte. Die zurückprallende Kraft würde vermehrt werden, wenn man ähnliche Oeffnungen in zwei oder mehren Armen anbrächte und dabei bedacht wäre, allen Oeffnungen eine solche Stellung zu geben, daß sich die Kugel in derselben Richtung bewegen müßte. Diese einmal hervorgebrachte Bewegung könnte dann durch gewöhnliche mechanische Vorrichtungen auf irgend ein Maschinenwerk übertragen werden, auf welches ihre Kraft wirken könnte. Diese Art der Benutzung des Dampfes ist in keinem Theile und keiner Form der heutigen Dampfmaschine angewendet worden.

24.

Der Oberaufseher des spanischen Staatsarchivs zu Simancas, Thomas Gonsalez, gab 1826 in Zach's monatlicher Correspondenz Nachricht von einem Versuche, der im Jahre 1543 auf Befehl Karl's V. im Hafen zu Barcelona gemacht wurde. Der Seekapitän Blasco de Garay hatte eine Maschine erfunden, durch welche er Schiffe ohne Ruder oder Segel bewegen wollte. Garay verbarg die Beschaffenheit der von ihm gebrauchten Maschine, und man sah bei dem Versuche nur, daß sie aus einem großen Wasserkessel bestand,

und daß sich Räder auf beiden Seiten des Schiffes umdrehten. Der Versuch wurde mit einem Schiffe von 200 Tonnen gemacht, und mehre Beamte waren auf Befehl des Kaisers als Zeugen zugegen. Nach dem Berichte eines dieser Zeugen war die Maschine im Stande, ein Schiff in drei Stunden zwei Seemeilen weit zu bewegen, aber sehr verwickelt und kostspielig und der Gefahr des Zerspringens ausgesetzt. Ein anderer Zeuge gab einen günstigern Bericht. Man hatte gute Erwartungen von dem Erfolge des Versuchs und der Erfinder wurde belohnt.

Der Umstand, daß Garay die Beschaffenheit der forttreibenden Kraft verhehlte, macht es unmöglich, etwas über die Einrichtung der Maschine zu bestimmen oder auch nur zu sagen, ob Dampf dabei wirksam gewesen sei, oder ob, wenn dieß der Fall war, sie nicht eine Wiederholung von Hero's Erfindung gewesen sei, was sehr wahrscheinlich ist. Den Ansprüchen, welche die Sachwalter des Spaniers erhoben haben, ist es nicht sehr günstig, daß man, ungeachtet der dem Erfinder gewährten Belohnung, doch, wie es scheint, den Versuch nicht wiederholt, und noch weniger praktisch benutzt hat.

25.

Ein zu Frankfurt im Jahr 1615 von dem Franzosen Salomo de Caus herausgegebenes Werk, unter dem Titel: Les raisons des forces mouvantes enthält den Lehrsatz: „Wasser wird mit Hilfe des Feuers über sein Niveau steigen.“ Zur Erklärung und zum Beweise dieses Satzes setzt er hinzu: „Nach diesem Grundsatze lassen sich verschiedene Maschinen bauen, und ich will eine derselben beschreiben. An einer kupfernen überall wohl verlötheten Kugel A (Fig. 8) bringe man eine Röhre mit einem Hahn D an, durch welche Wasser eingebracht werden kann, und eine andere Röhre B C, die auf dem obern Theile der Kugel eingelöthet wird, und deren unteres Ende C bis beinahe auf den Boden der Kugel geht, ohne ihn jedoch zu berühren. Dann fülle man die Kugel durch die Röhre D mit Wasser, schließe

den Hahn D, öffne den Hahn in der senkrechten Röhre BC, stelle die Kugel auf das Feuer, und indem die Wärme auf dieselbe wirkt, wird das Wasser in der Röhre BC steigen."

Auf diese von Salomo de Caus gegebene Beschreibung hat man einen Anspruch auf die Erfindung der Dampfmaschine gegründet. Man bemerke, daß weder in dem Lehrsatze, noch in der Beschreibung das Wort Dampf gebraucht wird. Allen Kennern der Physik war es lange vor der Bekanntmachung jener Beschreibung bekannt, daß erwärmte atmosphärische Luft eine vermehrte elastische Kraft erhält. Wie der Versuch beschrieben ist, wird der andere Theil der Kugel mit atmosphärischer Luft gefüllt, und die Wärme des Feuers, welche durch die äußere Oberfläche der Kugel auf die Luft wirkt und auch durch das Wasser mitgetheilt wird, müßte die Temperatur der in dem Gefäße enthaltenen Luft erhöhen, dadurch ihre Elasticität vermehren und das Wasser in der Röhre BC zum Steigen bringen, nach einem von den Eigenschaften des Dampfes ganz unabhängigen Grundsatze. Die hervorgebrachte Wirkung ist daher von der Art, wie sie jeder erwarten konnte, der mit den gewöhnlichen Eigenschaften der Luft bekannt, wiewohl mit den Eigenschaften des Dampfes ganz unbekannt ist, und der Druck der Luft hat in diesem Falle an der Hebung des Wassers eben so viel Antheil als der Druck des Dampfes.

Dieser Einwurf aber wird durch einen andern Lehrsatz entkräftet, der in demselben Werke enthalten ist. Der Verfasser spricht darin von der Stärke des durch die Wirkung des Feuers hervorgebrachten Dampfes, der nach dem Austreiben des Wassers mit großer Gewalt aus dem Hahn hervordringe. Wenn man zugeben will, daß de Caus die elastische Eigenschaft des Wasserdampfes gekannt und das Steigen des Wassers in der Röhre CB dem Drucke jenes Dampfes auf die Oberfläche des in der kupfernen Kugel eingeschlossenen Wassers zugeschrieben habe, so muß zugestanden werden, daß er eines der Mittel, den Dampf als mechanische Kraft zu benutzen, angegeben habe. In der heutigen Dampfmaschine wird dieser Druck jetzt nicht gegen eine flüssige Oberfläche, sondern gegen die feste Oberfläche des Kolbens gebraucht.

26.

In einem zu Rom im Jahre 1629 herausgegebenem Werke, Le machine diverse, von Branca befindet sich die Beschreibung einer Maschine zur Bewegung eines Rades durch einen Dampfstrom. Diese Erfindung besteht in einem Rade mit flachen Schaufeln auf dem Rande, wie die Breter eines Mühlrades. Der Dampf wird in einem verschlossenen Gefäße erzeugt und dringt mit Heftigkeit aus dem Ende einer Röhre. Gegen die Schaufeln gerichtet, bringt er das Rad zum Umschwunge, und diese Bewegung konnte mittels der gewöhnlichen mechanischen Vorrichtungen jedem Maschinenwerke mitgetheilt werden. Diese Erfindung hat keine Aehnlichkeit mit irgend einem Theil unserer Dampfmaschinen.

27.

Unter allen, welchen man die Erfindung der Dampfmaschine zugeschrieben hat, ist der berühmteste der Marquis von Worcester, der Verfasser des im Jahre 1663 erschienenen Werkes „Hundert Erfindungen.“ Die meisten Schriftsteller schreiben ihm die Erfindung der Dampfmaschine zu. Hören wir ihn selber über seine Erfindung sprechen. „Ich habe ein bewundernswürdiges und kräftiges Mittel gefunden, Wasser durch Feuer emporzutreiben, und zwar nicht dadurch, daß ich es durch eine Saugpumpe erhebe. Mein Mittel ist unbegränzt in seiner Wirkung, wenn die Gefäße stark genug sind. Ich füllte ein Stück eines Kanonenlaufs, von welchem das Ende abgebrochen war, mit Wasser, verstopfte darauf das abgesprungene Ende und das Zündloch und ließ ein beständiges Feuer darunter brennen. Nach vierundzwanzig Stunden sprang die Kanone mit großem Krachen. Da ich nur ein Mittel habe, meine Gefäße so einzurichten, daß sie durch die in ihnen befindliche Kraft Stärke erhalten, und eines nach dem andern zu füllen, so habe ich das Wasser in einem stetigen Strome vierzig Fuß hoch steigen sehen. Ein Gefäß, worin das Wasser durch Feuer in Dampf verwandelt ist, kann das kalte Wasser aus vierzig andern heben, und ein Mann, der das Werk besorgt, braucht bloß zwei Hähne umzudrehen. Ist das eine Gefäß entleert, so wird ein

anderes mit kaltem Wasser gefüllt und so weiter. Das Feuer wird dabei stets unterhalten, was der Aufseher, der die Hähne umzudrehen hat, in der Zwischenzeit bequem verrichten kann."

Diese Versuche müssen vor dem Jahre 1663, wo das Werk erschien, gemacht worden sein. Die Beschreibung der Maschine hat bloß den Zweck, die hervorgebrachten Wirkungen und den physikalischen Grundsatz, auf welchem sie beruhen, anzugeben. Sie ist jedoch bestimmt genug, um jedem, der mit Savery's späterer Erfindung bekannt ist, zu zeigen, daß Lord Worcester eine Maschine erfunden haben muß, die den Theil von Savery's Maschine enthielt, in welchem die unmittelbare Kraft des Dampfes gebraucht wurde. Die Beschreibung gibt bestimmt einen abgesonderten Kessel oder Dampferzeuger an. Der Dampf wird aus diesem in ein anderes Gefäß geleitet, welches das zu hebende kalte Wasser enthält; dieses Wasser wird durch den Druck des auf seine Oberfläche wirkenden Dampfes gehoben; wenn ein Gefäß ausgeleert ist, wirkt der Dampf auf das in einem andern enthaltene Wasser, während das erste wieder gefüllt wird, und es wird ein stetiger Wasserstrahl gehoben, indem man den Dampf abwechselnd auf zwei Gefäße wirken läßt und die Zwischenzeit benutzt, eines zu füllen, während das Wasser des andern entleert wird.

Vergleicht man diese Angaben mit der Erfindung des Franzosen de Caus, so wird man bemerken, daß, selbst wenn dieser die physische Kraft kannte, durch welche das Wasser in der von ihm angegebenen Vorrichtung gehoben wurde, diese doch nur ein Mittel war, um ein Gefäß mit siedendem Wasser sich selbst entleeren zu lassen, und ehe eine Wiederholung jener Wirkung vorgehen konnte, sollte das Gefäß wieder angefüllt und noch einmal zum Sieden gebracht werden. Bei der Erfindung des Lords Worcester hingegen wurde die Kraft des Dampfes eben so angewendet als in unseren Dampfmaschinen, indem der Dampf in einem Gefäße erzeugt und in dem anderen für mechanische Zwecke gebraucht wurde. Man darf diese Unterscheidung nicht für unbedeutend halten, denn auf ihr allein beruht die Ausführbarkeit einer Benutzung des Dampfes als einer mechanischen Kraft. Wäre die Wirkung des Dampfes auf das Gefäß beschränkt

gewesen, worin er erzeugt wurde, so hätte er sich nie zu einem nützlichen Zwecke anwenden lassen.

28.

Aus einer im britischen Museum aufbewahrten Handschrift geht hervor, daß Sir Samuel Morland dem Könige Ludwig XIV. ein Mittel vorgeschlagen hat, Wasser durch Dampf zu heben. Man findet hier jedoch nichts mehr als was sich aus der von dem Marquis von Worcester gegebene Beschreibung entlehnen ließ, und die Angabe ist nur darum merkwürdig, weil sie zeigt, daß Morland die Ausdehnung kannte, welche bei dem Uebergange des Wassers in Dampf statt findet. Nach jener Handschrift hatte Morland seine Entdeckung im Jahre 1682 gemacht und im folgenden Jahre dem Könige von Frankreich sie vorgelegt. „Wenn Wasser — sagt die Nachricht — durch die Wirkung des Feuers in Dampf verwandelt wird, nehmen die Dämpfe bald einen beinahe zweitausendmal größern Raum ein, als das Wasser vorher ausfüllte, und würden, wenn sie stets eingeschlossen sein sollten, eine Kanone zersprengen. Werden sie aber nach den Gesetzen der Statik gehörig geregelt und nach den Grundsätzen der Wissenschaft auf Maß, Gewicht und Gleichgewicht zurückgeführt, so tragen sie ihre Last ruhig, wie gute Pferde, und werden dem menschlichen Geschlechte sehr nützlich, besonders um Wasser zu heben."

29.

Um dieselbe Zeit war Papin, aus Blois, Professor der Mathematik zu Marburg, mit der Erfindung einer Maschine beschäftigt, durch welche der atmosphärische Druck als bewegende Kraft benutzt werden sollte, indem unter dem Kolben in einem Cylinder ein luftleerer Raum hervorgebracht würde. Seine ersten Versuche*) waren darauf gerichtet, diesen luftleeren Raum durch mechanische Mittel hervorzubringen, und er wollte

*) Um das Jahr 1685. Schon früher (1681) hatte er die Kraft der Dämpfe durch den von ihm erfundenen Digestor (der papinische Topf genannt) kennen gelernt, den er zur Auflösung der Knochen benutzte.

ein Wasserrad anwenden, eine Luftpumpe zu treiben, um sich so den erfoderlichen luftleeren Raum zu verschaffen. Dieß würde jedoch nur dazu geführt haben, die Kraft des Wasserrades auf eine andere Maschine überzutragen, da der auf diese Weise hervorgebrachte luftleere Raum nur die durch das Wasserrad ausgeübte, durch die Reibung der Pumpen aber verminderte Kraft hätte zurückgeben können. Papin's ursprünglicher Zweck würde jedoch dadurch erreicht worden sein, der bloß darin bestand, die Kraft eines Stromes oder eines Wasserfalles auf einen entfernten Punkt überzuleiten. Später versuchte er einen luftleeren Raum durch entzündetes Schießpulver zu erzeugen, er fand dieses Mittel aber unzureichend, da so viel Luft unter dem Kolben im Cylinder blieb, daß wenigstens die halbe einem luftleeren Raum zukommende Kraft verloren gegangen sein würde. „Ich schlug einen anderen Weg ein, sagt er. Da Wasser, durch Wärme in Dampf verwandelt, elastisch wie die Luft wird und nachher durch Kälte so vollkommen condensirt werden kann, daß es keine Elasticität mehr behält, so habe ich es nicht für schwierig gehalten, Maschinen einzurichten, in welchen durch mäßige Wärme und mit geringen Kosten Wasser jenen vollkommen luftleeren Raum hervorbringen könnte, den man vergebens durch Schießpulver zu erzeugen versucht hat."

Papin verfertigte nun das Modell einer Maschine, die aus einer kleinen Pumpe bestand, in welcher sich ein Kolben bewegte. Auf dem Boden des Cylinders unter dem Kolben befand sich etwas Wasser. Da der Kolben in unmittelbarer Berührung mit diesem Wasser stand und die atmosphärische Luft dadurch ausgeschlossen war, so wurde durch ein unter dem Boden des Cylinders wirkendes Feuer Dampf erzeugt, dessen elastische Kraft den Kolben bis an den Rand des Cylinders hob. Dann wurde das Feuer weggenommen, der Cylinder durch die umgebende Luft abgekühlt, der Dampf verdichtet und wieder in Wasser verwandelt, wobei in dem Cylinder ein luftleerer Raum entstand, in welchen der Kolben durch das Gewicht der Atmosphäre hinabgedrückt wurde. Durch Wiederanfachen und Auslöschen des Feuers konnte ein neues Steigen und Fallen des Kolbens bewirkt werden, und auf gleiche Weise ließ sich die abwechselnde

Bewegung desselben fortsetzen. Papin beschrieb keine andere Maschine, durch welche diese Eigenschaft praktisch nützlich gemacht werden konnte, aber er sagt im Allgemeinen, daß derselbe Zweck sich durch verschiedene, leicht aufzufindende Formen von Maschinen erreichen lasse.

30.

Die Entdeckung des Mittels, einen leeren Raum durch Condensation des Dampfes zu erzeugen, wurde vor 1688 von dem englischen Kapitän Thomas Savery*) von neuem gemacht. Er erhielt in jenem Jahre ein Patent für eine Dampfmaschine zur Hebung von Wasser. Er wollte die von dem Marquis von Worcester angegebene Maschine mit einer Vorrichtung verbinden, um Wasser durch ein Saugwerk in einen durch Verdichtung von Dämpfen erzeugten luftleeren Raum zu bringen. Savery scheint Papin's Schrift**) nicht gekannt zu haben und erzählt den Umstand, welchem er die Entdeckung der Dampfverdichtung verdankte. Er hatte in einem Wirthshause eine Flasche Wein getrunken, schleuderte die leere Flasche gegen das Feuer, und ließ sich dann ein Waschbecken geben, um sich die Hände zu waschen. In der Flasche war ein wenig Wein zurückgeblieben, der in der Nähe des Feuers zu sieden begann, und aus der Oeffnung der Flasche kam Dampf hervor. Savery fiel nun auf den Gedanken, zu versuchen, welche Wirkung entstehen würde, wenn er die Flasche umkehrte und die Mündung derselben in das kalte Wasser tauchte. Er zog einen Handschuh an, faßte die heiße Flasche, und in dem Augenblicke, wo er ihre Mündung in das Waschbecken brachte, drang das Wasser in den Hals der Flasche und füllte sie. (Sieh 21.)

Savery behauptet, dieser Umstand habe ihm sogleich die Möglichkeit gezeigt, durch Erzeugung eines luftleeren Raumes den Druck der Atmosphäre wirksam zu machen. Er glaubte, daß, wenn man, statt auf die gewöhnliche mühsame Art eine Pumpe

---

*) Andere nennen ihn Savary.

**) Recueil des diverses pièces touchant quelques nouvelles machines. Kassel 1695.

auszuleeren, sie zuerst mit Dampf füllte und dann diesen Dampf condensirte, der Druck der Atmosphäre das Wasser aus dem Brunnen in die Pumpe und dann in ein mit ihr verbundenes Gefäß treiben würde, vorausgesetzt, daß ein solches Gefäß nicht mehr als etwa 34 Fuß über dem Wasserspiegel des Brunnens sich befinde. Auch entging es ihm nicht, daß, wenn das Wasser auf diese Höhe gehoben wäre, er die elastische Kraft der Dämpfe auf die von dem Marquis von Worcester beschriebene Weise benutzen könnte, um dasselbe Wasser auf eine noch größere Höhe zu heben, und daß der Dampf, der jene mechanische Wirkung vollendet hätte, durch seine spätere Verdichtung dazu dienen würde, den luftleeren Raum wieder zu erzeugen und noch mehr Wasser heraufzuziehen. Nach diesem Grundsatze baute Savery die erste Maschine, in welcher Dampf zu einer praktischen Wirksamkeit angewendet ward.

Dritter Abschnitt.

Savery's und Newcomen's Dampfmaschinen.

31.

Die von Savery erfundene Maschine bestand, wie jede andere seitdem gebaute, aus zwei wesentlich verschiedenen Theilen, aus demjenigen, worin der Dampf erzeugt wird, oder dem Kessel, und demjenigen, worin der Dampf als bewegende Kraft angewendet wird.

Der erste dieser Theile bestand in Savery's Vorrichtung aus zwei starken Kesseln, von welchen D und E (Fig. 9.) Durchschnitte geben, dem größeren Kessel D und dem kleineren E. Die Röhren T und T' stehen in Verbindung mit dem wirkenden Apparat, den wir beschreiben wollen. Eine dünne Metallplatte R ist dicht auf den obern Theil des größeren Kessels gelegt, die sich um das Centrum C bewegt, so daß mittels eines bei C außen angebrachten Hebels die Platte R abwechselnd von der Oeffnung einer Röhre auf die Mündung einer andern gebracht werden kann. Dieses sogenannte Schieb=Ventil heißt der Regulator, der die Verbindung zwischen dem Kessel und zwei unten zu beschreibenden Dampfbehältern (Recipienten) abwechselnd öffnet und schließt. Der Hebel, der dieß bewirkt, wird stets durch die Hand des Aufsehers in Thätigkeit gesetzt.

Zwei Röhren G u. G' haben die Bestimmung, die Tiefe des Wassers im Kessel anzugeben. Eine derselben G hat ihre untere Oeffnung ein wenig über der gehörigen Wassertiefe, und die andere G' ein wenig darunter. An den obern Enden GG' sind Hähne angebracht, die man nach Belieben öffnen und schließen

kann. Der im obern Theile des Kessels gesammelte Dampf, der auf die Oberfläche des Wassers drückt, treibt dieses in die Röhren GG′, wenn deren untere Enden eingetaucht sind. Wenn bei der Oeffnung der Hähne GG′ Wasser aus beiden strömt, so ist zu viel Wasser in dem Kessel, da die Mündung von G unter der Oberfläche desselben ist; strömt aber Dampf aus beiden, so hat der Kessel zu wenig Wasser, weil die Mündung von G′ über der Oberfläche sich befindet. Wenn hingegen Dampf aus G und Wasser aus G′ strömt, so ist das Wasser im Kessel auf dem gehörigen Niveau. Diese sinnreiche Einrichtung, den Wasserstand in dem Kessel zu bestimmen, ist Savery's Erfindung und wird in vielen Fällen noch heutiges Tages benutzt.

Die Mündung von G sollte eigentlich etwas unter ⅓ der ganzen Tiefe des Kessels angebracht sein und die Mündung von G′ etwas tiefer als ⅓, da es nothwendig ist, daß beinahe ⅔ des Kessels immer mit Wasser gefüllt sind. Die Röhre J bildet eine Verbindung zwischen dem größeren Kessel D und dem kleineren oder dem Speisekessel E, und geht beinahe bis auf dessen Boden. Diese Verbindung kann nach Belieben durch den Hahn K geöffnet oder geschlossen werden. Eine Proberöhre wie GG′ geht beinahe bis auf den Boden. Aus diesem Kessel führt eine Röhre F bis zu dem Behälter C (Fig. 10), und es befindet sich ein Hahn bei M, welcher, wenn man ihn öffnet, das Wasser aus dem Behälter in den Speisekessel E fließen läßt und nach der Füllung dieses Kessels geschlossen wird. Die Art, wie dieser Behälter gefüllt wird, soll später beschrieben werden.

Nehmen wir nun an, der große Kessel sei bis zu dem gehörigen Stande zwischen den beiden Proberöhren gefüllt, der kleinere Kessel beinahe voll, der Hahn K aber und die Röhrenhähne GG′ sollen geschlossen sein. Wird das Feuer unter D angezündet und das Wasser zum Sieden gebracht, so bildet sich Dampf, der durch eine der beiden Röhren TT′ zu der wirkenden Vorrichtung geführt wird. Ist das Wasser in D durch Verdünstung unter das Niveau von G′ gekommen, so wird es nothwendig, den Kessel wieder zu füllen. Es wird zu diesem

Zwecke ein Feuer unter dem Speisekessel E angezündet, und der in demselben über dem Wasser erzeugte Dampf drückt, da er keinen Ausgang hat, auf die Oberfläche und treibt das Wasser in die Röhre J. Wird dann der Hahn K geöffnet, so dringt das siedende Wasser in den großen Kessel D, in welchen man es einströmen läßt, bis Wasser aus dem Hahn der Proberöhre G′ fließt. Geschieht dieß, so wird der Hahn K geschlossen und das Feuer unter E ausgelöscht, bis der große Kessel wieder gefüllt werden muß. Ist der Speisekessel E entleert, so wird er aus dem Behälter C (Fig. 10) wieder angefüllt, indem man den Hahn M der Röhre F öffnet.

32.

Beschreiben wir nun die wirkende Vorrichtung, mittels welcher der Dampf als bewegende Kraft benutzt wird.

Es seien VV′ (Fig. 10) zwei Dampfbehälter, welche durch die Röhren TT′ (eben so bezeichnet in Fig. 9) mit dem großen Kessel D verbunden sind.

Eine Röhre S, die Saugröhre genannt, geht in den Brunnen oder den Behälter hinab, aus welchem das Wasser gehoben werden soll, und steht mit jedem Dampfbehälter durch die Röhren DD′ und die aufwärts sich öffnenden Ventile AA′ in Verbindung. Die Dampfbehälter VV′ stehen mit der Röhre F durch dte aufwärts sich öffnenden Ventile BB′ mittels der Röhren EE′ in Verbindung. Ueber den Dampfbehältern und auf der Röhre F befindet sich der bereits erwähnte kleine Wasserbehälter C, der mit kaltem Wasser durch die Röhre F gefüllt wird und von dessen Boden eine mit dem Hahn G endigende Röhre aufsteigt, welche die Condensationsröhre heißt und abwechselnd über jeden Dampfbehälter gebracht werden kann. Aus dem Behälter C geht eine andere Röhre, die durch den Hahn M (Fig. 9) mit dem Speisekessel in Verbindung steht.*)

*) Diese Röhre ist in Fig. 11 angegeben, als ob sie aus der Röhre F über dem Wasserbehälter C gehe.

Die Verbindung der Röhren TT' mit dem Dampfkessel kann abwechselnd durch den Regulator R (Fig. 9) geöffnet und geschlossen werden.

Man nehme an, alle Dampfbehälter und Röhren seien mit atmosphärischer Luft gefüllt und der Regulator sei so gestellt, daß die Verbindung zwischen der Röhre T und dem Kessel offen, die Verbindung zwischen der anderen Röhre T' und dem Kessel aber geschlossen sei, so wird Dampf durch T in V strömen. So lange der Dampfbehälter V kalt ist, wird der Dampf verdichtet werden und auf den Boden und die Seiten des Gefäßes in Tropfen herabfallen. Der fortdauernde Dampfzufluß aus dem Kessel wird endlich dem Gefäße V einen solchen Wärmegrad mittheilen, daß der Dampf nicht weiter condensirt wird. Mit der in dem Gefäße V enthaltenen erhitzten Luft vermischt, wird er eine den atmosphärischen Druck übersteigende elastische Kraft haben und daher das Ventil B öffnen, aus welchem dann eine Mischung von Luft und Dampf strömt, bis die Luft aus dem Gefäße V geleert ist und es nichts als reinen Wasserdampf enthält.

Ist dieß geschehen, so werde der Regulator so gestellt, daß die Verbindung zwischen der Röhre T und dem Kessel unterbrochen und der weitere Zufluß von Dampf zu dem Gefäße V gehemmt ist. Zugleich werde die Condensationsröhre G über das Gefäß V gebracht und der Hahn so geöffnet, daß ein Strom von kaltem Wasser auf dasselbe fließe. Das Gefäß V wird dadurch abgekühlt werden und der darin enthaltene Dampf sich condensiren, wodurch ein luftleerer Raum in dem Gefäße entsteht. Das Ventil B wird durch den atmosphärischen Druck verschlossen gehalten. Die elastische Kraft der Luft zwischen dem Ventil A und der Oberfläche des Wassers in dem Brunnen oder Wasserbehälter wird A öffnen, und darauf ein Theil dieser Luft einströmen (siehe 6) und das Gefäß V füllen. Da nun die Luft in der Saugröhre S einen weiteren Raum einnimmt, so wird ihre elastische Kraft verhältnißmäßig vermindert werden (siehe 6) und ihr Druck nicht länger dem atmosphärischen Drucke auf die äußere Ober=

fläche L*) des Wassers im Behälter das Gleichgewicht halten. Dieser Druck wird daher das Wasser in der Röhre S hinauftreiben, bis sein Gewicht, verbunden mit der elastischen Kraft der Luft über ihm, mit dem Drucke der Atmosphäre auf L im Gleichgewichte steht. (Siehe 7.) Findet dieß statt, so steigt das Wasser nicht mehr.

Nehmen wir nun an, durch Verrückung des Regulators sei die Verbindung zwischen T und dem Kessel wieder eröffnet, und der Dampf ströme wieder in V. Wird der Hahn der Condensationsröhre G gedreht, so wird das Gefäß wieder geheizt wie vorher, die Luft ausgetrieben und ihre Stelle durch Dampf ersetzt. Die Condensationsröhre wirkt wieder auf das Gefäß V, und da der weitere Zufluß von Dampf unterbrochen ist, so entsteht ein luftleerer Raum in V, und der atmosphärische Druck auf L treibt das Wasser durch das Ventil A in das Gefäß V, das es beinahe anfüllt, doch bleibt über demselben etwas atmosphärische Luft.

So weit ist die zur Hebung des Wassers verwendete mechanische Kraft der Druck der Atmosphäre, und Dampfkraft wird nur zur Erzeugung eines luftleeren Raumes verwendet. Soll nun aber das Wasser durch die Röhre F höher und über das Niveau des Dampfbehälters gehoben werden, so ist es nöthig, die elastische Kraft des Dampfes zu benutzen. Das Gefäß V ist nun beinahe mit dem Wasser gefüllt, das der Druck der Atmosphäre hineingetrieben hat. Man verrücke nun noch einmal den Regulator, stelle die Verbindung zwischen der Röhre T und dem Kessel wieder her, drehe den Hahn der Condensationsröhre und lasse den Dampf in V strömen. Anfänglich wird der Dampf in der Berührung mit der kalten Oberfläche des Wassers und dem Gefäße condensirt werden; aber dieses wird bald erwärmt, und das aus dem condensirten Dampfe entstandene Wasser sammelt sich auf der Oberfläche des Wassers in V, in einer Schicht, welche die Siedehitze hat**). Der nun nicht mehr condensirte Dampf

*) Nicht in der Figur.

**) Heißes Wasser, leichter als kaltes, schwimmt auf der Oberfläche.

drückt mit seiner elastischen Kraft auf die Oberfläche des Wassers, und wenn dieser Druck den atmosphärischen übersteigt, wird das Ventil B geöffnet, und das durch dasselbe ausströmende Wasser geht durch E in die Röhre F, was so lange fortdauert, bis der Dampf das Wasser aus V ganz vertrieben und dessen Stelle eingenommen hat.

Der weitere Zufluß des Dampfes durch T wird noch einmal durch Bewegung des Regulators gehemmt, und wenn durch die Wirkung der Condensationsröhre auf das Gefäß V der darin enthaltene Dampf verdichtet wird, so entsteht ein luftleerer Raum. In diesen treibt, wie vorher, der atmosphärische Druck auf L das Wasser und V wird gefüllt. Wird dann die Condensationsröhre geschlossen und Dampf durch T eingelassen, so wird das Wasser in V durch das Ventil B und die Röhre E in F getrieben werden.

Wir haben den andern Dampfbehälter V′ noch nicht berührt. Nach unserer bisherigen Beschreibung könnte es scheinen, er sei mit atmosphärischer Luft gefüllt, deren Druck auf das Ventil A′ das in der Saugröhre S gehobene Wasser gehindert habe, hindurch zu gehen. Dieß ist jedoch nicht der Fall; denn während der in dem Gefäß V vorgegangenen Wirkungen haben ähnliche in V′ statt gefunden, die wir unberührt gelassen haben, um Verwirrung in der Darstellung zu vermeiden. Man wird sich erinnern, daß, nachdem der Dampf, aus dem Kessel durch die Röhre T strömend, die Luft aus V durch B getrieben hat, die Verbindung zwischen T und dem Kessel unterbrochen ist. Nun aber öffnet dieselbe Bewegung des Regulators, welche jene absperrt, die Verbindung zwischen T′ und dem Kessel, denn das Schieb-Ventil R (Fig. 9) ist von der einen Röhre auf die andere gebracht, und zu derselben Zeit läßt man, wie wir bereits bemerkt haben, die Condensationsröhre auf V wirken. Während nun durch Condensation ein luftleerer Raum in V erzeugt wird, treibt der durch T′ gehende Dampf die Luft durch B′ aus, wie wir bereits bei dem andern Gefäß V angegeben haben, und indem die Luft in S durch A in V hinaufströmt und das in S durch den atmosphärischen Druck auf L gehobene Wasser

nachfolgt, wird das Gefäß V′ mit Dampf angefüllt und die Luft gänzlich daraus vertrieben.

Die Verbindung zwischen T und dem Kessel ist nun wieder geöffnet, zwischen T′ und dem Kessel aber geschlossen, indem der Regulator R (Fig. 9) von T nach T′ gedreht wurde, während zu gleicher Zeit die Condensationsröhre von V weggenommen wird und nun auf V′ wirkt. Während der Dampf noch einmal die Luft aus V durch B austreibt, entsteht durch Condensation ein luftleerer Raum in V′, in welchem das Wasser in S durch das Ventil A′ strömt. Mittlerweile wird V wieder mit Dampf gefüllt. Die Verbindung zwischen T und dem Kessel ist nun unterbrochen, zwischen T′ und dem Kessel geöffnet, und die Condensationsröhne, von V′ weggenommen, wirkt auf V. Der Dampf aus dem Kessel treibt das Wasser in V′ durch B′ in die Röhre F und es entsteht ein luftleerer Raum in V, in welchen durch den atmosphärischen Druck auf L Wasser getrieben wird.

So wird jedes der beiden Gefäße V V′ abwechselnd aus S gefüllt und das Wasser daraus in F getrieben. Derselbe Dampf, der durch das Austreiben des Wassers aus den beiden Gefäßen seine Dienste geleistet hat, wird condensirt und bringt das Wasser aus S herauf, indem der atmosphärische Druck wirkt.

Während dieser Wirkungen müssen beständig zwei abwechselnde Bewegungen gemacht werden, zwischen T und dem Kessel muß die Verbindung offen, zwischen T′ und dem Kessel geschlossen sein. Beides bewirkt eine einzige Bewegung des Regulators. Die Condensationsröhre muß zu gleicher Zeit von V zu V′ in Wirksamkeit gebracht werden, was durch den auf derselben befindlichen Hebel geschieht. Die Verbindung zwischen T′ und dem Kessel muß dann wieder geöffnet, zwischen T und dem Kessel geschlossen werden, was durch Rückwärtsdrehen des Regulators bewirkt wird. Die Condensationsröhre wird von V′ auf V gebracht, indem man den andern Hebel rückwärts bewegt, und so abwechselnd.

Wir haben, um die Beschreibung deutlicher und übersichtlicher zu machen, einige geringe und unwichtige Verän=

derungen in der Stellung der Theile gemacht. Fig. 11 gibt eine Ansicht der Maschine. Die verschiedenen bereits beschriebenen Theile werden sich hier leicht wiedererkennen lassen, da sie mit denselben Buchstaben bezeichnet sind, wie in Fig. 9 und 10.

33.

Wollen wir den Werth einer Verbesserung gebührend schätzen, so müssen wir zuerst die Mängel bemerken, welchen sie abhelfen sollte. Savery's Maschine macht dem Geiste ihres Erfinders gewiß hohe Ehre, wenn man bedenkt, wie wenig die Wichtigkeit und die Eigenschaften des Dampfes bekannt waren und auf welcher niedrigen Stufe die Mechanik zu seiner Zeit stand. Sie hatte jedoch bedeutende Mängel und man fand endlich, daß sie für die wichtigsten Zwecke, zu welchen er sie bestimmt hatte, unzureichend war.

Zur Zeit dieser Erfindung war man in den englischen Bergwerken schon in ansehnliche Tiefen gekommen, und die Gewältigung der Wässer war so kostbar und beschwerlich geworden, daß in vielen Fällen die Ausbeute die Kosten des Baues nicht deckte. Die Gewältigung der Wässer war der wichtigste Zweck, den Savery durch seine Dampfmaschine erreichen wollte.

Wir haben dargethan, daß der Druck der Atmosphäre gegen 14 Pfund auf jeden Quadralzoll beträgt. Eine Wassersäule, deren Grundfläche einem Quadratzoll gleich und die 34 Fuß hoch ist, wiegt gegen 14 Pfund. Nehmen wir nun an, es sei in den Dampfbehältern VV′ (Fig. 10) ein ganz luftleerer Raum durch Condensation hervorgebracht worden, so würde der atmosphärische Druck auf L das Wasser nicht heben können, wenn der obere Theil jener Gefäße über 34 Fuß hoch wäre. Es ist daher offenbar, daß die Maschine nicht mehr als 34 Fuß über dem Wasser, das sie heben soll, sich befinden kann. Sie kann aber in der That nicht so hoch sein, da in den Dampfbehältern VV′ nie ein vollkommen luftleerer Raum erzeugt wird. Wenn Wasser nicht dem atmosphärischen Drucke unterworfen wird, geht es in einer sehr niedri-

gen Temperatur in Dampf über (siehe 17), und es ergab sich, daß ein Dampf von beträchtlicher Elasticität, ungeachtet der Condensation, in den Gefäßen VV′ und der Röhre S bleiben und das Aufsteigen des Wassers verhindern würde. Man fand daher, daß man die Maschine, wenn sie von praktischem Nutzen sein sollte, nie höher, als 26 Fuß über das Niveau des zu hebenden Wassers stellen könnte.

34.

Ist das Wasser zu der Maschine gehoben und sind die Dampfbehälter gefüllt, so muß der Dampf, wenn er über das Wasser in V gebracht wird, zuerst mit dem atmosphärischen Drucke in Gleichgewicht gesetzt werden, ehe er das Wasser durch das Ventil B treiben kann. Hier wird daher ein mechanischer Druck von 14 Pfund auf den Quadratzoll verwendet, ohne daß Wasser dadurch gehoben würde. Wird ein zweimal so elastischer Dampf gebraucht, so wird er eine Säule in F 34 Fuß hoch heben, und wäre die Elasticität des Dampfes dreimal so groß, so würde er eine Säule von 68 Fuß heben, welches mit Hinzurechnung von 26 Fuß, die durch die Atmosphäre gehoben werden, eine Hebung von 94 Fuß gibt.

Dabei wirkt ein Dampf, der den dreifachen Druck der Atmosphäre ausübt, auf die innere Oberfläche der Gefäße VV′. Ein Drittheil dieses Druckes wird aufgewogen durch den Druck der Atmosphäre auf die äußere Oberfläche der Gefäße, aber noch immer bleibt ein wirklicher Druck von 28 Pfd. auf den Quadratzoll übrig, der die Gefäße zu zersprengen droht. Es ergab sich, daß sich keine Einrichtung anbringen ließ, mehr als so viel mit Sicherheit zu tragen, und eine solche Maschine hob daher in der Wirklichkeit nicht mehr als ungefähr 90 Fuß in senkrechter Höhe. Wollte man daher mittels dieser Maschine Wasser aus einem Bergwerke heben, so mußte man auf jede Tiefe von 90 Fuß eine aufstellen, so daß das durch die erste gehobene Wasser in einem Behälter gesammelt ward, aus welchem es eine andere wieder 90 Fuß hoch hob. Ueberdieß fand man, daß sich diesen Maschinen, nach

einem großen Maßstabe ausgeführt, keine hinlängliche Stärke geben ließ. Sie mußten daher von sehr beschränkten Dimensionen sein und waren nicht im Stande, das Wasser mit hinlänglicher Geschwindigkeit zu heben. Die Nothwendigkeit, mehre Maschinen für verschiedene Wasserhöhen anzulegen, vermehrte bedeutend die Kosten der Anlage.

35.

Dieß waren aber nicht die einzigen Mängel von Savery's Maschinen. Sie verbrauchten unermeßlich viel Feuerungsmittel, da weit mehr verschwendet ward, als zur Hebung des Wassers oder zur Erzeugung eines luftleeren Raumes nöthig war. Man wird dieß leicht einsehen, wenn man die von uns beschriebene Wirksamkeit der Maschine betrachtet. Wird der Dampf zuerst aus dem Kessel in die Dampfbehälter VV' eingelassen, um einen luftleeren Raum zu erzeugen, so muß er diese Gefäße bis zur Temperatur des Dampfes selbst erwärmen, denn bis dahin wird der Dampf in dem Augenblicke, wo er in den Behälter strömt, durch die kalte Oberfläche condensirt werden. All diese Hitze, die erfoderlich ist, die Temperatur der Dampfbehälter zu erhöhen, geht daher vorloren. Hat das Wasser sich gehoben und die Gefäße VV' gefüllt und strömt nun der Dampf ein, um das Wasser durch BB' in F zu treiben, so wird dasselbe sogleich durch die kalte Oberfläche in VV' condensirt und wirkt nicht eher, bis eine gewisse Menge von heißem, aus condensirtem Dampfe entstandenen Wasser sich auf der Oberfläche des kalten Wassers gesammelt hat, das sich in VV' befindet. So wird abermals Hitze verschwendet.

Wenn der Dampf auf die Oberfläche des Wassers in VV' zu wirken und es niederzudrücken beginnt, so wird die kalte Oberfläche des Gefäßes allmählig dem Dampfe ausgesetzt und muß erhitzt werden, während der Dampf zu wirken fortfährt, und ist das Wasser nun aus dem Gefäße getrieben, so ist das Gefäß selbst bis zu der Temperatur des Dampfes erwärmt, der es füllt; die ganze dazu gebrauchte Hitze wird durch die nachfolgende Condensation verschwendet.

So ist es offenbar, daß der Dampf, welcher gebraucht wird, das Wasser in F zu treiben und einen luftleeren Raum zu erzeugen, nicht in gehörigem Verhältnisse steht zu demjenigen, was zur Erwärmung des Apparats nach der Condensation gebraucht wird.

36.

Noch ein anderer Umstand vermehrt den Verbrauch der Feuerungsmittel. Das Wasser wird durch B getrieben, nicht bloß gegen den atmosphärischen Druck, sondern auch gegen eine Wassersäule von 68 Fuß. Es ist daher ein Dampf von 42 Pfund Druck auf den Quadratzoll nöthig, und das Wasser in dem Kessel muß daher unter diesem Drucke zum Sieden gebracht werden. Soll dieß bewirkt werden, so ist es nöthig, das Wasser zu einer Temperatur von weit mehr als 80° R. zu bringen (siehe 17), und es muß daher der Kessel stärker erhitzt werden. Abgesehen von den andern Mängeln, würde durch diese starke Hitze der Apparat nach und nach verderbt und zerstört.

Savery wollte seine Dampfmaschine außer der Gewältigung der Grubenwässer noch zu vielen andern Zwecken benutzen, z. B. Städte mit Wasser zu versehen, Wasserkünste in Gärten zu unterhalten, Mühlen zu treiben. Es war der erste, der die Wirkungskraft einer Dampfmaschine mit Beziehung auf die Kraft von Pferden anzugeben versuchte. Bei dieser Vergleichung nahm er jedoch an, daß jedes Pferd täglich 8 Stunden arbeite, während die Maschine 24 Stunden wirkt. Wir werden später auf diese Art der Kraftvergleichung zurückkommen.

37.

Als Savery's Maschine zur Gewältigung der Grubenwässer unzureichend gefunden wurde, die bedeutenden in Bergwerken angelegten Kapitale aber die Erreichung jenes Zweckes nothwendig machten, und der Ertrag jährlich sank, so strengte die Erfindungskraft sich an, Mittel zu finden, um die in Savery's Dampfmaschine liegende Kraft praktisch nützlich machen.

Unter andern richteten Thomas Newcomen, ein Schmied in Darmouth und Johann Cawley, ein Glaser in demselben Orte, ihre Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand.

Wie es scheint, kehrte Newcomen wieder zu der alten Art zurück, das Wasser in den Gruben durch gewöhnliche Pumpen zu heben, wollte aber diese Pumpen durch eine wohlfeilere bewegende Kraft als Pferdeskräfte in Thätigkeit setzen. Er wählte zu diesem Zwecke das Mittel, die Pumpenstange D (Fig. 12) durch eine Kette an das obere kreisförmige Ende A des Hebels AB, der sich auf der Achse C bewegt, zu befestigen. Das andere kreisförmige Ende jenes Hebels B war durch eine Kette mit der Stange E des Kolbens P verbunden, der sich luftdicht in dem Cylinder F bewegte. Der Hebel wird der Balancier genannt. Wenn ein luftleerer Raum unter dem Kolben erzeugt wird, so drängt der auf ihn wirkende atmosphärische Druck mit einem Gewicht von 14 Pfund auf den Quadratzoll ihn hinab, und während das Ende A des Balanciers sich hebt, wird die Pumpenstange D hinaufgezogen. Wirkt ein dem atmosphärischen gleicher Druck unter dem Kolben, um dem abwärts gerichteten Druck das Gleichgewicht zu halten, so wird der Kolben hinsichtlich des Steigens und Fallens in einem indifferenten Zustande sein, und ist in diesem Falle die Stange D schwerer als der Kolben und seine Stange, um die Reibung zu überwinden, so wird sie niedergehen und den Kolben wieder bis an den Rand des Cylinders heben. Wird abermals ein luftleerer Raum erzeugt, so geht der Kolben wieder hinab und die Pumpenstange hebt sich, und so wirkt die Maschine ununterbrochen.

Dieß war Newcowen's erste Idee der atmosphärischen Maschine, und die Erfindung erschien auf den ersten Blick sehr empfehlungswerth. Die Wirkungskraft einer solchen Vorrichtung beruhte gänzlich auf der Größe des Kolbens, und da hier nicht ein stark elastischer Dampf gebraucht wurde, so war die Maschine nicht in Gefahr, durch die zerstörende Hitze zu leiden, welche bei Savery's Erfindung nöthig war. Ward ein vollkommen luftleerer Raum unter dem Kolben in dem Cylinder erzeugt, so erhielt man einen wirksamen, abwärts ge-

henden Druck, der funfzehnmal so viel Pfunde beträgt, als ein Abschnitt des Kolbens Quadratzölle hat.*) Hätte daher die Grundfläche des Kolbens 100 Quadratzolle, so würde ein Druck von 1500 Pfund erlangt werden.

38.

Sollte die Maschine ihren Zweck erreichen, so war zweierlei nöthig: 1) einen vollkommen luftleeren Raum unter dem Kolben zu erzeugen, um den Niedergang desselben zu bewirken, 2) ein Gegengewicht des atmosphärischen Druckes bei dem Aufsteigen zu finden.

Die Condensation des Dampfes zeigte sich als das wirksamste Mittel zur Erfüllung der ersten Bedingung, und die elastische Kraft desselben Dampfes vor der Condensation als ein Mittel, die zweite zu erfüllen. Es blieb nun für die Ausführung des Zweckes nichts mehr übrig, als Mittel zur abwechselnden Einströmung und Condensation des Dampfes aufzufinden. Newcowen und Cawley erhielten im Jahre 1705 ein Patent, an welchem aber Savery Antheil hatte, weil das Prinzip der Condensation, auf welches ihm früher ein Patent war ertheilt worden, zur Ausführung der neuen Maschine nöthig war.

Wir wollen nun die von Newcomen im Jahre 1711 zuerst aufgestellte Maschine beschreiben. Der Kessel K steht auf dem Feuerherd J, dessen Flamme den Boden des Kessels von allen Seiten umspielen kann. In dem Deckel desselben, der die Gestalt einer Halbkugel hat, befinden sich zwei Proberöhren GG', wie bei Savery's Maschine, und ein Ventil V, das sich aufwärts öffnet und mit einem Pfunde auf den Quadratzoll belastet ist, so daß, wenn der in dem Kessel erzeugte Dampf den atmosphärischen Druck um mehr als ein Pfund

*) Da die Berechnung der Wirkungskraft einer Dampfmaschine von der Zahl der Quadratzolle des Kolben-Abschnittes abhängt, so wird es nützlich sein, eine Formel zur Berechnung der Quadratzolle in einer Kreisoberfläche zu geben. Man multiplicire die Zahl der Zolle des Durchmessers mit sich selbst, theile das Produkt durch 14, multiplicire den Quotienten mit 11, und das Ergebniß wird die Zahl der Zolle in dem Kreise sein.

auf den Quadratzoll übersteigt, das Ventil V sich hebt und der Dampf durch dasselbe ausströmt und auszuströmen fortfährt, bis der Druck hinlänglich vermindert ist, worauf das Ventil sich wieder schließt. Die große Dampfröhre S führt den Dampf aus dem Kessel in den Cylinder, und eine Speiseröhre T, die mit einem nach Belieben zu öffnenden und zu schließenden Hahn versehen ist, geht aus dem Wasserbehälter L zu dem Kessel. Durch diese Röhre kann der Kessel wieder mit Wasser gefüllt werden, so bald der Hahn der Proberöhre G′ anzeigt, daß die Oberfläche des Wassers im Kessel unter demselben steht. Dem Behälter L wird heißes Wasser durch Mittel zugeführt, die wir näher beschreiben werden.

39.

Um den Mechanismus zu begreifen, der den Kolben in Thätigkeit setzt, müssen wir sehen, wie der Dampf zugeführt und condensirt wird. Wenn der Kolben durch den gegen einen luftleeren Raum wirkenden atmosphärischen Druck auf den Boden des Cylinders hinabgedrängt worden ist, so muß, um diesem Druck ein Gegengewicht zu geben und das Aufziehen des Kolbens durch das Gewicht der Pumpenstange möglich zu machen, Dampf aus dem Kessel eingelassen werden. Dieß geschieht durch die Oeffnuug des Hahns R in der Dampfröhre S. Wenn der Dampf auf diese Weise aus dem Kessel eingeströmt ist, hält der Druck desselben der Wirkung der Atmosphäre auf den Kolben das Gleichgewicht, und dieser wird alsbald durch das Gewicht der Pumpenstange D zum Rande des Cylinders hinaufgezogen. Der Dampf muß dann condensirt werden, um einen luftleeren Raum zu erzeugen. Zu diesem Zwecke wird der weitere Zufluß des Dampfes unterbrochen, was durch das Verschließen des Hahns R geschieht. Ist der Zufluß des Dampfes aus dem Kessel gehemmt, so muß kaltes Wasser auf die äußere Oberfläche des Cylinders wirken, um den in demselben enthaltenen Dampf zu condensiren. In dieser Absicht ist der Cylinder in einen andern eingeschlossen*) und

*) Der äußere Cylinder ist in der Figur nicht angegeben.

zwischen beiden befindet sich ein freier Raum, in welchen durch den über ihm befindlichen Hahn M kaltes Wasser fließt, das eine aus dem Behälter N kommende Röhre zuführt. Dieser Behälter erhält sein Wasser durch die Pumpe O, welche durch die Maschine selbst mittels des über derselben befindlichen Hebels in Thätigkeit gesetzt wird.

Das aus M zufließende kalte Wasser zwischen den beiden Cylindern entzieht die Wärme dem innern Cylinder, und indem der Dampf condensirt wird, entsteht ein luftleerer Raum, in welchen der Kolben alsbald durch den atmosphärischen Druck hinabgetrieben wird. Ehe nun der nächste Niedergang des Kolbens erfolgen kann, muß das zwischen den Cylindern befindliche Wasser, das durch die dem Dampfe entzogene Wärme erhitzt worden ist, weggeschafft werden, um einem frischen Zuflusse von kaltem Wasser aus M Raum zu geben. In dem Boden des Cylinders befindet sich eine mit einem Hahn versehene Oeffnung, durch welche das Wasser in den Behälter L abgelassen wird, und da es warm ist, kann es durch T dem Kessel als Zufluß zugeführt werden.

Der Hahn R wird nun wieder geöffnet und Dampf unter den Kolben eingelassen, der nun wie vorher aufsteigt. Der Niedergang wird durch Oeffnung des Hahns M bewirkt, der kaltes Wasser zwischen die Cylinder einströmen läßt, wodurch der Dampf unter dem Kolben condensirt wird. Der nun condensirte, in Wasser verwandelte Dampf sammelt sich auf dem Boden des Cylinders und widersteht dem Niedersteigen des Kolbens. Es ist daher nothwendig, ihm einen Ausgang zu verschaffen, was durch ein Ventil geschieht, das sich auswärts in eine Röhre öffnet, die in den Behälter L geht, in welchen der condensirte Dampf getrieben wird. Es war nothwendig, über den Kolben stets Wasser strömen zu lassen, um ihn luftdicht zu erhalten, und dazu diente ein Hahn, der Wasser aus der Röhre M auf den Kolben fließen ließ.

40.

Bald nach der ersten Zusammenstellung dieser Maschine kam Newcomen durch einen zufälligen Umstand auf ein weit

besseres Mittel, den Dampf zu condensiren, als die Zuleitung von Wasser auf die äußere Oberfläche des Cylinders war. Er bemerkte eine Maschine, die mehre Hebungen mit ungewöhnlicher Schnelligkeit bewirkte und ohne regelmäßigen Zufluß von condensirendem Wasser. Als er den Kolben untersuchte, fand er ein Loch in demselben, durch welches das Wasser, das hineingegossen wurde, um ihn luftdicht zu erhalten, abfloß und dann sogleich den darunter befindlichen Dampf condensirte. Dieß veranlaßte Newcomen, den äußeren Cylinder aufzugeben. Er führte die mit einem Hahn Q versehene Röhre H in den Boden des Cylinders, so daß bei der Umdrehung des Hahnes der Druck des Wassers in der Röhre H durch den Wasserstand in dem Behälter N, einen Wasserstrahl in den Cylinder treiben und dadurch augenblicklich den Dampf condensiren mußte. Diese Art der Condensirung mittels der Einspritzung war eine wichtige Verbesserung der Maschine und wird noch angewendet.

41.

Wir haben eine allgemeine Uebersicht aller Theile der Maschine gegeben, und betrachten nun ihre Wirkungen. Wenn die Maschine nicht arbeitet, zieht das Gewicht der Pumpenstange D den Hebel A nieder und hebt den Kolben bis zum oberen Theile des Cylinders, wo er bleibt. Nehmen wir an, alle Hähne und Ventile seien geschlossen und der Kessel sei gehörig gefüllt. Ist das Feuer unter demselben angezündet, so wird das Wasser erhitzt, bis der Dampf im Stande ist, das Ventil V zu heben. Nun wird das Ventil R, der Regulator, geöffnet. Der Dampf strömt ein und wird anfänglich in dem kalten Cylinder condensirt. Nach einiger Zeit erhält der Cylinder die Temperatur des Dampfes, der nun nicht mehr condensirt wird und sich mit der Luft vermischt, die den Cylinder füllte. Der Dampf und die erhitzte Luft, die eine größere Kraft baben, als der Druck der Atmosphäre, öffnen nun ein Ventil am Ende X einer kleinen Röhre in dem Boden des Cylinders. Aus diesem auswärts sich öffnenden Ventil, welches das Blase-Ventil heißt, dringen Dampf und Luft

in einem beständigen Strome, bis alle Luft ausgetrieben und der Cylinder mit reinem Wasserdampfe angefüllt ist.

Soll die Arbeit der Maschine beginnen, so schließt der Werkmeister den Regulator R und hemmt dadurch den Dampfzufluß aus dem Kessel. Zu gleicher Zeit öffnet er das Einspritz=Ventil H*), wodurch kalte Wasserstrahlen in den Cylinder gebracht werden. Der in diesem enthaltene Dampf wird sogleich condensirt und ein luftleerer Raum erzeugt. Die atmosphärische Luft kann nicht in das auswärts sich öffnende Blase=Ventil dringen und den luftleeren Raum verderben. Sind jene Vorkehrungen getroffen, so beginnt der atmosphärische Druck auf den Kolben zu wirken und treibt ihn in den Cylinder hinab. Ist der Kolben auf dem Boden des Cylinders, so schließt der Werkmeister das Ventil H und öffnet den Regulator. Dadurch wird das Einspritzen in den Cylinder gehemmt und der Dampf aus dem Kessel eingelassen. Die erste Wirkung des Dampfes ist, das Condensationswasser und den condensirten Dampf, die sich auf dem Boden des Cylinders gesammelt haben, durch die Röhre Y auszutreiben, welche ein auswärts sich öffnendes Ventil hat, das Ausführ=Ventil heißt und zu dem warmen Wasserkasten L führt, in welchen das Wasser sich ergießt.

Wird der durch R eingeströmte Dampf nicht mehr condensirt, so hält er dem Drucke der Atmosphäre über dem Kolben das Gleichgewicht, und der Kolben wird durch das Gewicht der Stange D in dem Cylinder hinaufgezogen. Dieses Aufsteigen des Kolbens wird auch durch den Umstand unterstützt, daß der Dampf etwas stärker als die Atmosphäre ist.

Hat der Kolben den Obertheil des Cylinders erreicht, so wird der Regulator R geschlossen, das Einspritz=Ventil geöffnet und ein neues Niedersteigen des Kolbens bewirkt.

Die Handhabung der Maschine bestand daher in dem abwechselnden Oeffnen und Schließen zweier Ventile, des Regulators und des Einspritz=Ventils. Kam der Kolben bis an den Obertheil des Cylinders, so wurde jenes geschlossen und

*) Auch Condensations=Ventil genannt.

dieses geöffnet, kam er auf den Boden, so wurde jenes geöffnet und dieses geschlossen.

42.

Selbst ein eifriger Aufseher konnte der Behandlung jener Ventile nur eine so unvollkommne Aufmerksamkeit widmen, daß die Wirkung der Maschine sehr unregelmäßig und die Verschwendung der Feuerungsmittel bedeutend war, bis ein bei der Maschine angestellter Knabe, Humphrey Potter, dem die einförmige Behandlung der Ventile zu langweilig war, ein Mittel fand, die Oeffnung und Schließung derselben durch den Mechanismus des Werkes selbst bewirken zu lassen, eine der wichtigsten Verbesserungen, durch welche nicht nur der aus der Nachlässigkeit der Aufseher entstandene unregelmäßige Gang der Maschiue vermieden, sondern auch die Schnelligkeit ihrer Wirkung verdoppelt wurde. Potter band Schnüre an die Hebel, welche die Ventile hoben, und führte sie zu dem Balancier, an welchem er sie dergestalt befestigte, daß derselbe, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre anzog und die Ventile mit der größten Regelmäßigkeit und Genauigkeit öffnete und schloß. Diese Erfindung wurde später von Beighton zu Newcastle sehr verbessert, indem er an dem Balancier eine gerade Stange anbrachte, welche Zapfen hatte, die bei dem Auf- und Niedersteigen des Balanciers die an den Ventilen befestigten Hebel ergriffen und sie im rechten Augenblicke öffneten und schlossen.

Die so verbesserte Maschine erfoderte keine andere Aufsicht, als daß der Kessel zuweilen mittels des Hahns T gespeist und der Feuerherd besorgt werden mußte.

Vierter Abschnitt.

Würdigung der atmosphärischen Maschine. Watt's Erfindungen.

43.

Die im vorigen Abschnitte beschriebene atmosphärische Maschine hatte in praktischer Beziehung bedeutende Vorzüge vor Savery's Erfindung, und auch noch in unsern Tagen wird sie nicht selten in Gegenden gebraucht, wo Feuerungsmittel häufig und wohlfeil sind, da die Anschaffungskosten weit weniger betragen, als bei neuern Maschinen. Der niedrige Druck des Dampfes, den sie fodert, machte den Gebrauch der atmosphärischen Maschine ganz sicher, da hier nur ein Druck von einem Pfunde auf den Quadratzoll statt findet, während bei Savery's Maschine der Druck auf 30 Pfund stieg. Die Temperatur des Dampfes, die nicht über 82° R. stieg, konnte die Maschine weder abnutzen noch zerstören, wogegen Savery's Maschine, die einen Dampf, bei einer Temperatur von 115° R. entwickelt, verlangte, in kurzer Zeit nicht mehr fähig war, den Druck zu ertragen. Ueberdieß hatte Savery's Maschine nur eine sehr beschränkte Wirkungskraft, sowohl in Beziehung auf die Menge des Wassers, das sie hob, als auf die Höhe, zu welcher sie es brachte. (Siehe 34.) Die atmosphärische Maschine hatte dagegen keine Gränze als die Dimensionen des Kolbens. Bei der Schätzung der Kraft dieser Maschinen kann man jedoch nicht den vollen atmosphärischen Druck als wirksame Kraft annehmen. Das Condensationswasser, das mit dem condensirten

Dampfe sich vermischt, setzt eine Menge von heißem Wasser auf dem Boden des Cylinders ab, welches, da es dem atmosphärischen Drucke nicht unterworfen ist, einen Dampf erzeugt, der den Niedergang des Kolbens hindert. Die Erfahrung lehrt, daß wenigstens 3 Pfund auf den Quadratzoll für den Widerstand dieses Dampfes, und ein Pfund auf den Quadratzoll für die Reibung u. s. w. in Rechnung gebracht werden müssen, so daß man die wirkliche Kraft findet, wenn man diese 4 Pfund von dem atmosphärischen Drucke abzieht, und diesen zu 14 Pfund gerechnet, bleibt eine Wirkungskraft von 10 Pfund auf den Quadratzoll übrig. Dieß ist jedoch wohl über das gewöhnliche Ergebniß.

Ein anderer Vorzug der atmosphärischen Maschine ist die Leichtigkeit, mit welcher sie benutzt werden kann, Maschinenwerke mittels des Balanciers in Bewegung zu setzen.

Der Vorzug dieser Maschine als einer Erfindung ist hauptsächlich in ihrem Mechanismus und ihren Combinationen zu suchen. Wir finden hier keine Anwendung eines neuen Prinzips; die Wirkung des atmosphärischen Druckes auf einen vollkommen oder unvollkommen luftleeren Raum war längst bekannt. Die Erzeugung eines luftleeren Raumes durch Condensation des Dampfes hatten Papin und Savery angegeben und dieser hatte sie praktisch benutzt. Die mechanische Wirkungskraft, die sich aus dem unmittelbaren Drucke der elastischen Kraft des Dampfes herleiten ließ, war von dem Marquis von Worcester bestimmt angegeben worden und selbst vor seiner Zeit nicht unbekannt; der Kessel, die Proberöhren, der Regulator der atmosphärischen Maschine, waren offenbar von Savery's Erfindung entlehnt. Die Idee, einen Kolben in einem Cylinder mittels des Drucks der Atmosphäre gegen einen unter demselben befindlichen luftleeren Raum wirken zu lassen, hatte der sinnreiche deutsche Naturforscher Otto von Guerike, der Erfinder der Luftpumpe, und später Papin angegeben, und der Gebrauch eines Balanciers konnte auch nicht unbekannt gewesen sein. Newcowen erwarb sich dessen ungeachtet kein geringes Verdienst durch die sinnreiche Vereinigung dieser zerstreuten Prinzipien. „Der von ihm erfundene Mechanismus —

sagt Tredgold — zeigt den ganzen Unterschied zwischen einer wirksamen und unwirksamen Maschine, und ist billig höher zu schätzen als die zufällige Entdeckung eines neuen Prinzips." Die schnelle Condensation des Dampfes durch Einspritzung von Wasser, die Vorrichtung, den Cylinder nach jedem Kolbenhub von Luft und Wasser zu befreien, sind zwei früher nicht gebräuchliche Erfindungen, die für die Wirkungskraft der Maschine wesentlich sind, und das Verdienst derselben gebührt allein Newcowen und seinen Gehilfen.

44.

Newcomen erhielt sein Patent im Jahre 1705 und Papin gab 1707 seine Schrift unter dem Titel: Neue Vorrichtung Wasser durch Feuer zu heben*) heraus. Er beschreibt darin eine Dampfmaschine, die hier kaum Erwähnung verdiente, wenn nicht über die Ansprüche verschiedener Völker auf einen Antheil an der Erfindung der Maschine Streit entstanden wäre. Seine Schrift erschien neun Jahre nach Savery's Patent, und er gesteht selber, daß er die Erfindung des Engländers gekannt habe. Zwei Jahre früher hatte Newcomen sein Patent erhalten. Hören wir, wie Papin seine Maschine beschreibt. Ein ovaler Kessel A (Fig. 13) wird auf ungefähr $\frac{2}{3}$ seines Inhalts mit Wasser angefüllt, das durch ein Ventil B auf dem oberen Theile eingelassen wird, welches sich aufwärts öffnet und durch einen Hebel mit einem Schiebgewicht niedergehalten wird. Der Druck auf das Ventil wird geregelt, indem das Gewicht zu oder von B bewegt wird. Der Kessel ist mit dem Cylinder C verbunden durch eine mit einem Hahn D versehene Heber-Röhre. Der Cylinder C hat auf dem oberen Theile ein Ventil F, durch ein Gewicht geschlossen wie B, und eine Röhre mit einem Hahn G, der sich in die Atmosphäre öffnet. In dem Cylinder befindet sich ein hohler kupferner Kolben H, der sich frei in demselben bewegt und auf dem Wasser schwimmt. Eine andere Röhre bildet eine Verbindung zwischen dem Bo-

*) Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. — Kassel 1707.

den jenes Cylinders und dem Boden eines verschlossenen cylindrischen Gefäßes I, das Luftgefäß genannt. Diese Röhre hat ein aufwärts sich öffnendes Ventil K und eine in einen Trichter sich endigende Röhre, die mit einem nach unten sich öffnenden Ventil L versehen ist. Aus dem untern Theile des Luftgefäßes geht eine Röhre mit einem Hahn M, die bis zu jeder Höhe, auf welche das Wasser gehoben werden soll, sich verlängern läßt. Wird nun Wasser in den Trichter gegossen, so geht es durch das nach unten sich öffnende Ventil L, füllt die Röhre, steigt in den Cylinder C, hebt den schwimmenden Kolben auf seine Oberfläche und behält dieselbe Höhe in C, die es in dem Trichter hat. Auf diese Weise kann der Cylinder C bis zu der Höhe des Trichterrandes gefüllt werden. Dabei muß der Hahn G geöffnet bleiben, um der Luft einen Ausgang zu lassen, wenn das Wasser steigt. Nehmen wir an, es werde Feuer unter dem Kessel angezündet und Dampf erzeugt. Oeffnet man nun den Hahn D und schließt G, so wird der Dampf durch die den Kessel und den Cylinder verbindende Röhre in den obern Theil des Cylinders strömen, den schwimmenden Kolben niederdrücken und das Wasser in die untere Röhre treiben. Da der Durchgang bei dem Ventil L, das sich nach unten öffnet, gesperrt ist, so öffnet das Wasser das Ventil K und geht in das Luftgefäß I. Ist der Kolben H auf den Boden des Cylinders hinabgedrückt, so wird der Hahn D geschlossen, G aber geöffnet, und der Dampf geht in die Atmosphäre über. Der Cylinder wird dann aus dem Trichter wieder gefüllt, wie vorher, und hat man den Hahn G geschlossen und D geöffnet, so wird die Arbeit fortgesetzt und mehr Wasser in das Luftgefäß I getrieben.

Während dieß geschieht, wird die ursprünglich in jenem Gefäße befindliche Luft in dem Raume über dem Wasser zusammengedrückt, und ihre elastische Kraft genau in demselben Verhältnisse vermehrt, als ihr Rauminhalt sich vermindert. (Siehe 6.) Nehmen wir nun an, die Hälfte des Gefäßes I sei mit dem hineingetriebenen Wasser angefüllt worden, so hat die über dem Wasser befindliche Luft, da sie auf die Hälfte ihres Volumens gebracht ist, eine doppelte elastische Kraft erhalten, und

drückt daher auf die Oberfläche des Wassers mit dem doppelten Gewicht der Atmosphäre. Sind $\frac{2}{3}$ des Gefäßes mit Wasser gefüllt, so wird die Luft in $\frac{1}{3}$ des Rauminhaltes zusammengedrückt und liegt auf der Wasseroberfläche mit dreifachem Atmosphärendruck. Wird nun der Hahn M geöffnet, so wird der Druck der condensirten Luft das Wasser in die Röhre N hinauftreiben, und es wird fortfahren zu steigen, bis die Wassersäule dem Drucke der Luft das Gleichgewicht hält. Ist das Gefäß I, wenn sich das Wasser in den Röhren hält und der Hahn M offen ist, zur Hälfte mit Wasser gefüllt, so wird die Höhe der Wassersäule in N 34 Fuß sein, weil 34 Fuß Wasser dem Druck der Atmosphäre gleich sind, und rechnet man den atmosphärischen Druck hinzu, so erhält man einen Gesammtdruck von zwei Atmosphären, der dem Drucke der auf die Hälfte des Rauminhalts zusammengepreßten Luft in I das Gleichgewicht hält. Sind $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt, so wird eine Säule von 68 Fuß in N getragen werden, denn eine solche Säule, verbunden mit dem auf ihr lastenden atmosphärischen Drucke, gibt einen Gesammtdruck, dreimal so groß, als der atmosphärische, gegen die in I auf $\frac{1}{3}$ ihres ursprünglichen Rauminhalts zusammengedrückte Luft.

Diese Maschine verliert, da sie das Prinzip der Condensation nicht benutzt, 26 Fuß in der senkrechten Hubhöhe. Ueberhaupt steht sie in jeder Beziehung unter Savery's und Newcomen's Maschinen.

45.

Seit Newcomen seine atmosphärische Maschine gebaut hatte, verfloß beinahe ein halbes Jahrhundert, ohne daß ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Dampfmaschinen geschehen wäre. Während dieser Zeit hatte der berühmte Smeaton auf die Verhältnisse der Theile der atmosphärischen Maschine besondere Aufmerksamkeit gerichtet und sie zu so hoher Vollkommenheit gebracht, als sie nach dem Prinzip, auf welchem sie beruhte, erreichen zu können schien und seitdem erreicht hat.

Jakob Watt, ein in der Geschichte der Mechanik hochberühmter Name, begann im Jahre 1763 seine Versuche über

die Elasticität des Dampfes. Er war 1736 zu Greenoch in Schottland geboren und kam im sechzehnten Jahre als Lehrling zu einem Verfertiger mathematischer Instrumente, bei welchem er vier Jahre blieb. Darauf ging er nach London, wo er seinem Fache sich zu widmen fortfuhr, bis der geschwächte Zustand seiner Gesundheit ihn nöthigte, nach Schottland zurückzukehren. Er ließ sich in Glasgow nieder, um sein Gewerbe zu treiben, und wurde 1757 von der dortigen Universität angestellt. Dieß führte zu einer Bekanntschaft mit dem berühmten Robison, der damals in Glasgow studirte und Watt's Aufmerksamkeit auf die Dampfmaschine lenkte. Bei seinen ersten Versuchen gebrauchte er Dampf von hohem Drucke; die Gefahr aber, den Kessel zu zersprengen, die Schwierigkeit, die Fugen luftdicht zu erhalten, und andere ungünstige Umstände bewogen ihn, seine Forschungen zu jener Zeit aufzugeben.

46.

Im Winter 1763 erhielt Watt den Auftrag, das Modell einer atmosphärischen Maschine, das der Universität gehörte, auszubessern, und dieß veranlaßte ihn, seine Aufmerksamkeit der Dampfmaschine wieder zuzuwenden. Er fand den Verbrauch des Dampfes, als er mit diesem Modell einen Versuch machte, so groß, daß er vermuthete, es möchte weit mehr davon verschwendet werden, als zu dem Spiele des Kolbens erfoderlich wäre. Sein erster Schluß war, der Stoff, woraus der Cylinder bestand, Messing, möchte ein zu guter Wärmeleiter sein und dadurch viel Wärme verloren gehen. Er machte nun einige Versuche mit hölzernen Cylindern, die er mit Leinöl tränkte, gab aber diesen Gedanken bald wieder auf. Weitere Erwägungen überzeugten ihn, daß eine ungeheure Dampfverschwendung aus dem Prinzip der atmosphärischen Maschine selbst hervorgehe. Man wird dieß leicht einsehen. Hat der Dampf den Cylinder so weit gefüllt, daß er dem Drucke der Atmosphäre auf den Kolben das Gleichgewicht hält, so muß der Cylinder die Temperatur des Dampfes selbst haben. Bei dem Einströmen des condensirenden Wassers bildet der mit diesem Wasser sich verbindende Dampf eine Masse von heißem Wasser

auf dem Boden des Cylinders. Dieses Wasser, das nicht dem atmosphärischen Drucke unterworfen ist, siedet unter einer sehr niedrigen Temperatur und erzeugt einen Dampf, welcher dem Niedergang des Kolbens widersteht. Die Hitze des Cylinders selbst unterstützt diese Wirkung, und es war zur Erzeugung eines leidlich vollkommen luftleeren Raumes nöthig, so viel Condensationswasser einströmen zu lassen, als hinlänglich war, um die Temperatur des Wassers in dem Cylinder unter 30 ° R. zu bringen, und folglich den Cylinder selbst bis auf diese Temperatur abzukühlen. Unter diesen Umständen fand der Niedergang des Kolbens sehr wenig Widerstand von dem in dem Cylinder befindlichen Dampfe; aber bei dem nachfolgenden Aufsteigen des Kolbens trat eine unermeßliche Dampfverschwendung ein, denn der unter den Kolben gebrachte Dampf ward augenblicklich durch den kalten Cylinder und das Condensationswasser condensirt, und dieß dauerte fort, bis der Cylinder wieder auf 80° R. erwärmt war, ein Wärmegrad, den der ganze Cylinder erreichen mußte, ehe das Aufsteigen vollendet werden konnte. Hierin also lag eine auffallende Ursache der großen Wärmeverschwendung. Bei jedem Niedergange des Kolbens sollte der Cylinder auf 30° abgekühlt, und bei jedem Aufsteigen wieder auf 80° erwärmt werden. Es war daher die Frage, ob die durch den vollkommner luftleeren Raum erlangte Kraft der Verschwendung von Feuerungsmitteln angemessen wäre, die zur Erzeugung dieses luftleeren Raumes erfodert wurden, und es erschien im Ganzen vortheilhafter, den Cylinder nicht bis zu einer so niedrigen Temperatur abzukühlen, und folglich mit einem sehr unvollkommen luftleeren Raum und einer verminderten Kraft zu arbeiten.

Watt erkannte nun, daß bei dieser Maschine nur zwei Fälle möglich waren, sie mußte entweder viel oder wenig Condensationswasser gebrauchen. Wenn sie viel gebrauchte, so war der luftleere Raum vollkommen, aber dann wurde der Cylinder abgekühlt und es mußte sehr viel Feuerung verschwendet werden, um ihn zu erwärmen. Wurde hingegen wenig gebraucht, so blieb ein Dampf zurück, der dem Niedergange des Kolbens widerstehen und der Atmosphäre einen Theil ihrer Kraft

Kraft entziehen mußte. Es trat nun die große Aufgabe hervor, den Dampf zu condensiren, ohne den Cylinder abzukühlen.

Die geringe Menge von Wasser in Dampfform, welche den Cylinder füllte, und die große Menge des eingespritzten Wassers, dem der Cylinder seine Wärme mittheilte, führten Watt zu der Untersuchung, in welchem Verhältnisse die Masse des Wassers in flüssigem Zustande zu der Masse des dampfförmigen stehe, und welches Verhältniß zwischen den Wärmegraden statt finde, die es in diesen beiden Zuständen enthält. Er fand durch Versuche, daß ein Kubikzoll Wasser ungefähr einen Kubikfuß Dampf gebe, und daß der Kubikfuß Dampf so viel Wärme enthalte, um einen Kubikzoll Wasser bis auf etwa 1000° Fahrenheit zu erwärmen. (Siehe 15.) Dieß überraschte ihn, da der Thermometer denselben Wärmegrad, nämlich 80°, sowohl für den Dampf als für das Wasser zeigte, aus welchem derselbe entwickelt war. Was wurde nun aus all dieser in dem Dampfe noch enthaltenen Wärme, die durch den Thermometer nicht angezeigt wurde? Watt machte den Schluß, daß diese Wärme auf irgend eine Weise dazu beitragen müßte, das Wasser in seiner neuen Form zu erhalten.

Erstaunt über diesen sonderbaren Umstand, theilte er ihn dem Naturforscher Joseph Black mit, der ihm nun seine Theorie von der gebundenen oder latenten Wärme erklärte, die er bereits einige Zeit vorher in Glasgow vorgetragen hatte, wovon aber Watt nichts wußte. „So stolperte ich," sagt Watt, „über eine der wichtigsten Thatsachen, auf welche diese Lehre gegründet ist *)."

*) Diese Lehre beruht hinsichtlich des Dampfes auf dem Grundsatze, die Wärme werde mit dem Dampfe auf eine Art verbunden, daß sie nicht nach außen wirken könne. Hat das Wasser in einem verschlossenen Gefäße, aus welchem der Dampf nicht entweichen kann, eine Temperatur von 160° R. erhalten, so wird bei der Oeffnung des Gefäßes der Dampf sogleich entströmen, aber alsbald die Temperatur des zurückgebliebenen Wassers auf 80° R. zurückgehen, weil Wasser in einem offnen Gefäße nie über 80° erwärmt werden kann. Es sind also plötzlich 80° Wärme verschwunden. Aus genauen Messungen er-

47.

Watt richtete nun seine ganze Aufmerksamkeit auf die Erfindung eines Mittels, den Dampf zu condensiren, ohne den Cylinder abzukühlen. Er kam auf den Gedanken, in einem von dem Cylinder abgesonderten Gefäße einen beständigen luftleeren Raum zu unterhalten. Konnte zwischen dem Cylinder und diesem Gefäße eine Verbindung eröffnet werden, so mußte der Dampf, vermöge seiner Expansivkraft, aus dem Cylinder in das abgesonderte Gefäß strömen, wo er, der Kälte ausgesetzt, sogleich sich condensirte, während der Cylinder mittlerweile die Temperatur von 80 ° behielt.

Dieser glückliche Gedanke war der erste Schritt in der glänzenden Laufbahn, die Watt's Namen unsterblich gemacht und seinen Ruhm bis an die äußersten Gränzen der gesitteten Welt verbreitet hat. Er sagt selbst, von dem Augenblicke an, wo der Gedanke einer abgesonderten Condensation ihn ergriffen habe, seien alle anderen Einzelnheiten seiner verbesserten Maschine in schneller Folge vor seine Seele getreten und im Laufe eines einzigen Tages sei seine Erfindung so vollständig gewesen, daß er alsbald zu einem Versuche geschritten sei.

Sein abgesondertes Gefäß, der Condensator, sollte, nach seiner ersten Idee, durch eine Röhre mit dem Cylinder verbunden werden. Er wollte den Cylinder kalt erhalten, indem er ihn in einen Behälter mit kaltem Wasser stellte und einen kalten Wasserstrahl in das Innere einströmen ließ. War die Verbindung mit dem Cylinder eröffnet, so wurde der in den Condensator

---

gibt sich, daß ungefähr $\frac{1}{5}$ des Wassers verschwunden ist, dieses Fünftel Dampf aber, das nur 80 ° Wärme besitzt, hat jedem der zurückgebliebenen $\frac{4}{5}$ 80 ° seiner Wärme entzogen, und besitzt also im Ganzen fünfmal 80 ° oder 400 ° Wärme, von welchen jedoch der Thermometer nur 80 ° zeigt. Diese hier nicht verschwundene, aber auch nicht auf den Thermometer wirkende Wärme wird verbraucht, den Dampf als Dampf zu bilden, doch eben dadurch gehindert, nach außen zu wirken. Darum nennt man sie gebundene Wärme. Die bei der Bildung der Dämpfe gebundene Wärme wird wieder frei, wenn der Dampf niedergeschlagen oder condensirt wird.

strömende Dampf augenblicklich durch den Wasserstrahl und die kalte Oberfläche condensirt. Hier aber zeigte sich die Schwierigkeit, was mit dem Condensationswasser und dem condensirten Dampfe, die sich auf dem Boden des Condensators sammelten, gemacht werden sollte. Ueberdieß mußte sich Luft, oder nicht zu condensirendes Gas, aus verschiedenen Quellen sammeln. Wasser in seinem gewöhnlichen Zustande enthält immer mehr oder weniger Luft, und die mit dem Wasser in dem Kessel verbundene Luft mußte mit dem Dampfe durch die Röhren und den Cylinder gehen und sich in dem Condensator sammeln. Auch mußte sich Luft mit dem Condensationswasser verbinden und durch die Berührung mit dem heißen Dampfe frei werden. Die aus diesen verschiedenen Quellen hervorgehende Luft mußte, wie Watt voraussah, sich in dem Condensator anhäufen, selbst wenn das Wasser entleert ward, und endlich den Niedergang des Kolbens hindern. Diesem Uebel wollte er abhelfen durch eine Verbindung zwischen dem Boden des Condensators und einer Pumpe, die er Luftpumpe nannte, so daß Wasser und Luft, die sich in dem Condensator gesammelt haben möchten, herausgeschafft werden könnten. Es war leicht, diese Pumpe durch die Maschine selbst in Thätigkeit zu setzen. Dieß war der zweite große Schritt in der Erfindung.

Um den Kolben luftdicht in dem Cylinder zu machen, hatte man es nöthig gefunden, eine gewisse Wassermenge auf ihn zu gießen. Unter den obwaltenden Umständen mußte alles Wasser, das durch den Kolben ging oder zwischen ihm und dem Cylinder durchsickerte, zum Sieden kommen, da der Cylinder 80° Wärme hatte, und der dadurch erzeugte Dampf den luftleeren Raum verderben. Zur Vermeidung dieses Nachtheils wollte Watt den Kolben schlüpfrig und luftdicht machen, indem er ihn mit geschmolzenem Wachse und Talg bestrich.

Noch ein anderes Uebel mußte entfernt werden. Bei dem Niedergange des Kolbens wurde durch die in den Cylinder eindringende Luft die Temperatur desselben vermindert, so daß bei dem nächsten Aufsteigen ein Theil des eindringenden

Dampfes condensirt und dadurch Dampfverschwendung erzeugt wurde. Watt half dieser Schwierigkeit ab, als er den obern Theil des Cylinders durch einen luft- und dampfdichten Deckel schloß, indem er die Kolbenstange durch eine mit einer Stopfbüchse versehene Oeffnung gehen ließ und den Kolben, statt durch atmosphärischen Druck, durch Dampf zum Niedergehen brachte.

Dieß war der dritte Schritt in dieser großen Erfindung, der den Charakter der Maschine gänzlich veränderte. Sie war nun wirklich eine Dampfmaschine im vollen Sinne des Wortes, denn der Druck über dem Kolben war die elastische Kraft des Dampfes, und der luftleere Raum unter demselben war durch die Condensation des Dampfes erzeugt, so daß unmittelbar und mittelbar Dampf als bewegende Kraft angewendet wurde, wogegen in der atmosphärischen Maschine nur die mittelbare Kraft des Dampfes, als ein leichtes Mittel zur Erzeugung eines luftleeren Raumes, benutzt ward.

Die letzte Schwierigkeit, die hinsichtlich der Ersparung der Feuerungsmittel noch entfernt werden mußte, war der Umstand, daß der Cylinder auf seiner äußeren Oberfläche leicht durch die Atmosphäre abgekühlt werden konnte. Anfänglich wählte Watt dazu das Mittel, den Cylinder mit einem hölzernen Mantel zu versehen, da Holz ein schlechter Wärmeleiter ist. Später aber ging er zu einem andern Mittel über und schloß einen Cylinder in einen andern ein, indem er den Raum zwischen beiden stets mit Dampf füllte. So behielt der innere Cylinder stets die Temperatur des Dampfes, der ihn umgab. Den äußeren Cylinder nannte er die Jacke*).

48.

Nach Watt's Berechnung ward in der atmosphärischen Maschine durch die Erwärmung des Cylinders und andere

*) Es ist merkwürdig, daß Watt dasselbe Mittel gebrauchte, den Cylinder warm zu halten, dessen Newcomen sich bei seinen Maschinen bedient hatte, ihn abzukühlen. (Siehe 38.)

Vorrichtungen dreimal so viel Dampf verschwendet, als zu nützlicher Wirkung verbraucht wurde, und da die von ihm angegebenen Verbessernngen beinahe all diesen Verschwendungen abhalfen, so rechnete er auf eine Ersparung von drei Viertheilen an Feuerungsmitteln, die auch später bei der Ausführung sich ergab.

Die Ehre, die er sich durch seine Entdeckungen erwarb, ward erhöht durch die Schwierigkeiten, mit welchen er zu jener Zeit in einer bedrängten äußeren Lage zu kämpfen hatte. Als er sich vornahm, die bei der Dampferzeugung verbrauchte Wärme zu bestimmen, war er nicht im Stande, sich einen wirksamen und passenden Apparat zu verschaffen, der kostspielig gewesen wäre, und mit Hilfe von Apothekergeräthschaften entdeckte er die bereits erwähnten Eigenheiten, die zu den Thatsachen gehören, auf welche die Lehre von der gebundenen Wärme sich gründet. Man hat einen großen Antheil an dem Verdienste seiner Entdeckungen dem Naturforscher Black zugeschrieben, dessen Belehrungen über die Natur der gebundenen Wärme Watt, wie man behauptet, die Kenntniß der Thatsachen verdankt habe, die zu seinen Entdeckungen führten. Dieß ist jedoch nicht der Fall, und das Mißverständniß ist aus einigen Watt betreffenden Stellen in Robison's Schriften hervorgegangen, wo angeführt wird, Watt sei ein Schüler und vertrauter Freund Black's gewesen, dessen Vorlesungen er in Glasgow gehört habe. Hören wir dagegen Watt's eigne Worte. „Leider — sagt er in einem Briefe an Dr. Brewster — erlaubten es mir meine Berufsgeschäfte nicht, seinen oder anderen Vorlesungen beizuwohnen. Was ferner Dr. Black's Aeußerung betrifft, daß seine Beobachtung der bei der Bildung und Condensation des elastischen Dampfes vorkommenden Erscheinungen „nicht wenig zum allgemeinen Wohl beigetragen hat, indem sie meinen Freund, Herrn Watt in Birmingham, damals in Glasgow, auf seine Verbesserungen der Dampfmaschine führte“ — „so ist es mir schmerzlich, irgend eine Meinung oder Behauptung meines geehrten Freundes bestreiten zu müssen, aber in diesem Falle finde ich

es nöthig zu sagen, daß er in einen Irthum gefallen zu sein scheint. Jene Verbesserungen gingen aus der angenommenen Thatsache hervor, daß Dampf durch die Berührung kalter Körper condensirt wird, und aus der später bekannt gewordenen, daß Wasser bei einer Temperatur unter 30° R. zum Sieden kommen kann (siehe 46), und daß sich folglich ein luftleerer Raum nicht erzeugen läßt, wenn nicht der Cylinder und sein Inhalt bei jedem Hub unter dieser Temperatur abgekühlt werden.“

Fünfter Abschnitt.

Watt's einfach wirkende Dampfmaschine.

49.

Die erste Maschine, in welcher Watt seine im vorigen Abschnitt entwickelten Ideen ausführte, ist diejenige, welche später die einfach wirkende Dampfmaschine oder die Expansionsmaschine genannt wurde.

In dem Cylinder C (Fig. 14) bewegt sich ein dampfdichter Kolben P. Er ist oben geschlossen, und die sorgfältig abgedrehte Kolbenstange bewegt sich in dem dampfdichten Ringe einer Stopfbüchse und wird stets mit geschmolzenem Talg oder Wachs getränkt. Durch einen Trichter auf dem obern Theile des Cylinders fließt geschmolzenes Fett auf den Kolben, um ihn dampfdicht zu erhalten. Die Büchsen AA, welche die Ventile für die Zulassung und Entziehung des Dampfes enthalten, sind durch die Röhre T mit einander verbunden und an den Cylinder befestigt. Unter dem Cylinder, in einem Behälter mit kaltem Wasser, ist ein verschlossenes cylindrisches Gefäß D, der Condensator genannt, das mit dem Cylinder durch eine Röhre T′ verbunden ist, die zu der unteren Ventil-Büchse A führt. An der Seite des Condensators ist eine Röhre eingelassen, deren inneres Ende viele Löcher hat, wie der Ausguß einer Gießkanne. Durch den Hahn E, auf der Außenseite des kalten Behälters angebracht, strömt das Wasser, um im Innern in Strahlen auszuspritzen.

Die Röhre S, die den Dampf aus dem Kessel zuführt, tritt bei F in die obere Ventil-Büchse. Unmittelbar darunter befindet sich ein Ventil G, das durch einen Hebel G′ geöffnet und geschlossen wird. Ist dieses Ventil offen, so läßt es Dampf auf den obern Theil des Kolbens und in die Röhre T strömen, welche die beiden Ventil-Büchsen verbindet; ist es aber geschlossen, so hemmt es den Zufluß des Dampfes. In der unteren Büchse befinden sich zwei Ventile, von welchen das eine H durch den Hebel H′, das andere I durch den Hebel I′ bewegt wird. Das Ventil H läßt, wenn es geöffnet wird, Dampf aus dem Cylinder über dem Kolben durch die Röhre T zu dem Cylinder unter dem Kolben einströmen, vorausgesetzt, das Ventil I sei geschlossen. Ist hingegen das Ventil I geöffnet, H aber geschlossen, so geht der Dampf aus dem untern Theile des Cylinders durch T′ in den Condensator. Dieser in den Condensator eintretende Dampf wird von den durch das Ventil E eingelassenen Wasserstrahlen condensirt.

Das Ventil G heißt das obere Dampfventil, H das untere Dampf-Ventil, I das Ausleerungs-Ventil, E das Condensations-Ventil. Sehen wir nun, wie diese Ventile bewegt werden müssen, um das abwechselnde Aufsteigen und Niedersteigen des Kolbens zu bewirken.

Es ist zuerst nothwendig, daß alle Luft, welche den Cylinder, die Röhren und den Condensator füllt, ausgetrieben werde, und zu diesem Zwecke braucht man nur die Ventile G, H und I zu öffnen. Der Dampf wird dann, aus F durch das Ventil G strömend, in den oberen Theil des Cylinders übergehen und durch die Röhre T und das Ventil H in den unteren Theil, durch das Ventil I aber in den Condensator. Wird der Dampf durch die Kälte des Apparats nicht mehr condensirt, so strömt er, mit Luft vermischt, durch das auswärts sich öffnende Ventil M aus, und dieß dauert fort, bis alle Luft ausgetrieben und der Apparat mit reinem Dampf angefüllt ist. Nehme man nun an, alle Ventile seien wieder geschlossen. Der Cylinder über und unter dem Kolben ist mit

Dampfe gefüllt, und da der Dampf, der den Condensator füllte, durch die kalte Oberfläche abgekühlt ist, so hat sich ein luftleerer Raum in diesem Gefäße gebildet.

Ist der Apparat in diesem Zustande, so öffne man das obere Dampf = Ventil G, das Ausleerungs = Ventil I und das Condensations = Ventil E. Dann wird durch G Dampf einströmen und auf den oberen Theil des Kolbens drücken, aber nicht in den unteren Theil des Cylinders dringen können, da das untere Dampf=Ventil H geschlossen ist. Auch der Dampf, der den Cylinder unter dem Kolben füllte, strömt durch das offene Ausleerungs = Ventil I in den Condensator, wo er von dem durch das offene Condensations=Ventil eingespritzten Wasser condensirt wird. Ist dieß geschehen, so befindet sich ein luftleerer Raum in dem Cylinder unter dem Kolben. In diesen Raum wird der Kolben ohne Widerstand durch den Dampf niedergedrückt, der durch G eingeströmt ist. Wenn der Kolben auf diese Weise auf den Boden des Cylinders hinabgedrückt ist, so schließe man die drei vorher offenen Ventile G, I und E und öffne das untere Dampf = Ventil H. Die Wirkungen dieser Veränderung sind leicht zu erkennen. Durch das Schließen des oberen Dampf = Ventils G wird das weitere Zuströmen des Dampfes in den Apparat gehemmt. Wird das Ausleerungs = Ventil I geschlossen, so ist der Uebergang des Dampfes aus dem Cylinder in den Condensator aufgehoben. So ist der in dem Cylinder, den Ventil = Büchsen und den Röhren enthaltene Dampf in dieselben eingeschlossen und es wird weder Dampf zugelassen noch hinausgelassen. Durch das Schließen des Condensations = Ventils E wird das Einspritzen in den Condensator gehemmt.

Vor der Oeffnung des Ventils H war der in dem Apparat enthaltene Dampf auf den Theil des Cylinders über dem Kolben, die Röhre T und die Ventil = Büchse A beschränkt. Wird aber das Ventil H geöffnet, so kann der Dampf über und unter dem Kolben und durch jeden Theil zwischen dem oberen Dampf = Ventil G und dem Ausleerungs = Ventil I freies Spiel haben, und da derselbe Dampf auf beiden Seiten sich

bewegt, so wird der Kolben auf gleiche Weise aufwärts nnd abwärts gedrückt.

In diesem Falle ist keine Kraft vorhanden, welche den Kolben auf dem Boden des Cylinders znrückzuhalten strebte, als sein eigenes Gewicht. Das Aufsteigen wird auf dieselbe Weise bewirkt, wie das Aufsteigen in der atmosphärischen Maschine. Die Kolbenstange ist durch eine Kette G an das bogenförmige Ende des Balanciers befestigt, und das Gewicht der Pumpenstange R oder jedes andern Gegengewichtes, das auf die von dem andern Ende des Balanciers herabhangende Kette wirkt, zieht den Kolben zu dem obern Theile des Cylinders.

Hat der Cylinder diesen Punkt erreicht, so seien die drei Ventile G, I und E wieder geöffnet, H aber sei geschlossen. Es geht dann Dampf aus der Röhre F durch das obere Dampf-Ventil G zu dem obern Theile des Kolbens, und zu gleicher Zeit wird der Dampf, der den Cylinder unter dem Kolben füllte, durch das offene Ausleerungs-Ventil I in den Condensator geführt, wo er durch den Wasserstrahl condensirt wird, den das offene Condensations-Ventil E nun einläßt. Der Kolben wird durch den über ihm befindlichen Dampf ohne Widerstand in den luftleeren Raum unter ihm hinabgedrückt. So wird weiter gearbeitet.

Man erinnere sich, daß von den vier, zu dem Spiele des Kolbens nöthigen Ventilen drei geöffnet sein müssen, in dem Augenblicke, wo der Kolben den obern Theil des Cylinders erreicht, während das vierte geschlossen ist, und daß bei der Ankunft des Kolbens auf dem Boden des Cylinders jene drei Ventile geschlossen sind und das vierte offen ist. Die drei gleichzeitig geöffneten und geschlossenen Ventile sind das obere Dampf-Ventil, das Ausleerungs-Ventil und das Condensations-Ventil. Das untere Dampf-Ventil wird in demselben Augenblicke geöffnet, wo jene geschlossen werden, und so umgekehrt. Wir beschreiben später die Art der Bewegung dieser Ventile.

Würde das angegebene Verfahren während eines lange dauernden Kolbenspieles fortgesetzt, so müßten, wie man leicht sieht, zwei Wirkungen eintreten, welche den Gang der Ma-

schine hemmen und endlich aufheben würden. Erstens würden sich das Condensations-Wasser und der condensirte Dampf in dem Condensator D sammeln und ihn anfüllen, und zweitens würde das Wasser in dem Behälter, in welchem der Condensator seinen Platz hat, allmälig erwärmt werden, bis es endlich nicht mehr kalt genug wäre, den Dampf zu condensiren, wenn es eingespritzt würde. Erinnere man sich überdieß, daß Wasser im luftleeren Raume bei einer sehr niedrigen Temperatur siedet, und man wird einsehen, daß heißes Wasser, auf dem Boden des Condensators gesammelt, Dampf erzeugen würde, welcher, wenn er durch das Ausleerungs-Ventil in dem Cylinder aufstiege, dem Niedersteigen des Kolbens Widerstand leisten und dem Drucke des Dampfes über demselben entgegenwirken würde. Ein anderer Nachtheil entsteht aus der Luft oder einer anderen unveränderlich elastischen Flüssigkeit, die mit dem Wasser sowohl in dem Kessel als in dem condensirenden Wasserstrahl in Verbindung tritt und vermöge ihrer Elasticität frei wird.

Zur Entfernung dieser Hindernisse ist eine Pumpe neben dem Condensator angebracht, die mit ihm durch ein Ventil M verbunden ist, das sich aus dem Condensator in die Pumpe öffnet. In dieser Pumpe bewegt sich luftdicht ein Kolben, der ein sich aufwärts öffnendes Ventil N hat. Man nehme an, der Kolben sei auf dem Boden der Pumpe. Wenn er aufsteigt, so kann, da das Ventil in demselben sich aufwärts öffnet, keine Luft durch denselben hinab gehen, und folglich bleibt unter ihm ein luftleerer Raum. Das Wasser und die Luft, die sich in dem Condensator gesammelt haben mögen, öffnen das Ventil M und gehen in den untern Theil der Pumpe, aus welchem sie nicht zurückkehren können, weil sich das Ventil M auswärts öffnet. Bei dem Niedersteigen des Pumpenkolbens öffnen die Flüssigkeiten, die den untern Theil der Pumpe füllen, das Kolben-Ventil N, und indem sie durch dasselbe gehen, kommen sie über den Kolben, werden aber durch das Ventil N gehindert zurückzukehren. Bei dem nächsten Aufsteigen hebt der Kolben diese Flüssigkeiten zu dem obern Theile der Pumpe, wo sie durch eine Rinne in einen kleinen Behälter B

durch das auswärts sich öffnende Ventil K abfließen. Das in B gesammelte Wasser wird durch den condensirten Dampf erwärmt. Dieser Behälter B heißt der warme Brunnen und dient dazu, den Kessel zu speisen, wie wir bald sehen werden. Die Pumpe, welche das erwärmte Wasser und die Luft aus dem Condensator abführt, heißt die Luftpumpe.

50.

Wir haben noch nicht gezeigt, wie die Ventile und der Luftpumpen-Kolben bewegt werden. Die Pumpenstange Q ist mit dem Balancier verbunden und die Pumpe wird daher durch die Maschine selbst bewegt. Es ist ziemlich gleichgiltig, an welchen Arm des Balanciers sie befestigt werde. Geschieht es auf derselben Seite des Mittelpunktes, auf welcher sich der Cylinder befindet, so steigt und fällt sie mit dem Dampfkolben; ist sie aber auf der entgegengesetzten Seite angebracht, so steigt der Pumpenkolben, wenn der Dampfkolben niedergeht, und umgekehrt. Bei der einfach wirkenden Maschine hat diese letzte Einrichtung einige Vortheile. Geht der Dampfkolben hinab, so strömt der Dampf in den Condensator und das Einspritzwasser wirkt. Dieß ist daher der günstigste Augenblick, das Wasser und den condensirten Dampf aus dem Condensator durch das Aufsteigen des Pumpenkolbens abzuführen, weil dadurch das Niedersteigen des Dampfkolbens erleichtert wird; eine Wirkung, die nicht eintreten würde, wenn der Dampfkolben und der Pumpenkolben gleichzeitig niederstiegen.

Was die Art der Oeffnung und der Verschließung oder die sogenannte Steuerung der Ventile betrifft, so ist leicht einzusehen, daß die drei gleichzeitig geöffneten und geschlossenen Ventile durch denselben Hebel bewegt werden können. Dieser Hebel kann von einem auf der Stange Q der Luftpumpe angebrachten Ansatz oder Daumen gehoben werden, so daß, wenn die Kolben zu dem obern Theile der Cylinder gekommen sind, der Daumen den Hebel faßt und die drei Ventile öffnet. Sie bleiben offen, bis der Kolben wieder herabkommt, wo sie dann, sobald derselbe auf dem Boden des Cylinders ist, aus dem Riegel, der sie hält, weggenommen werden und sich durch

ihr eigenes Gewicht wieder schließen. Ganz auf dieselbe Weise wird das untere Dampfventil geöffnet, wenn der Kolben auf dem Boden des Cylinders angekommen ist, und geschlossen, wenn er oben ist, und zwar mittels eines an der Kolbenstange der Luftpumpe befindlichen Daumens.

51.

Bald nach der Erfindung dieser Maschinen bemerkte Watt, daß in manchen Fällen Nachtheile aus der zu schnellen Bewegung des Dampfkolbens am Ende des Niedersteigens entstanden, da er eine beschleunigte Bewegung annahm. Der Grund lag in der gleichförmigen Wirkung des Dampfdruckes auf denselben; denn wenn er zuerst im obern Theile des Cylinders in Bewegung gesetzt wurde, so war die Bewegung verhältnißmäßig langsam, aber bei der Fortdauer desselben Druckes nahm die Geschwindigkeit, womit der Kolben hinabstieg, immer zu, bis er sich dem Boden des Cylinders näherte, wo er die größte Geschwindigkeit erhielt. Um dieß zu verhüten und den Niedergang des Kolbens so gleichförmig als möglich zu machen, wurde vorgeschlagen, lange vor vollendetem Niedersteigen den Dampfzufluß abzuschneiden und bloß die ausdehnende Kraft des in dem Cylinder befindlichen Dampfes wirken zu lassen. Zu diesem Zwecke ward an der Stange der Luftpumpe ein Daumen angebracht, der das obere Dampf-Ventil schloß, wenn der Dampfkolben ein Drittheil seines Niedersteigens vollendet hatte, und während der übrigen Zeit ward es verschlossen gehalten, bis der Kolben wieder den oberen Theil des Cylinders erreichte. Durch diese Einrichtung drückte der Dampf mit voller Kraft auf einem Drittheil des Weges, den der Kolben abwärts nahm, und setzte ihn in Bewegung; auf den zwei andern Drittheilen aber wirkte der Dampf bloß durch seine Expansivkraft, die in demselben Verhältnisse geringer ward, als der ihm gegebene Raum durch das Niedersteigen des Kolbens sich vergrößerte. So wird der Kolben auf dem längeren Theile seines Weges mit einer allmälig abnehmenden Kraft getrieben, was in der Praxis hinlänglich gefunden ward, ihm eine gleichförmige Geschwindigkeit zu geben.

52.

Wir haben bereits erwähnt, welche Schwierigkeiten aus dem Umstande hervorgehen, daß das Wasser in dem Behälter, in welchem sich der Condensator und die Luftpumpe befinden, sich erhitzt, und die Condensation dadurch unvollkommen wird. Um diesem Nachtheile abzuhelfen, befindet sich in jenem Behälter eine Röhre, durch welche das Wasser beständig abläuft, und eine Pumpe L, die Kaltwasser-Pumpe genannt, wird von der Maschine selbst in Bewegung gesetzt, und holt kaltes Wasser herauf, das sie durch eine Röhre in einem stetigen Strom in den kalten Behälter sendet. Jene Ausführröhre, die das Wasser aus dem Behälter ableitet, befindet sich in dem obern Theile desselben, da das heiße Wasser, das leichter als das kalte ist, oben bleibt. So fließt das erwärmte Wasser beständig ab und es wird ein steter Zufluß von kaltem Wasser bewirkt. Die Kolbenstange der Kaltwasser-Pumpe ist an den Balancier befestigt, der sie bewegt, gewöhnlich auf der entgegengesetzten Seite von dem Cylinder.

Eine andere Pumpe O, die Warmwasser-Pumpe, geht in den warmen Brunnen B, und hebt aus demselben das Wasser, das sie durch eine Röhre in den Kessel treibt, um ihn zu speisen. Wir werden weiter unten genauer angeben, wie dieß geschieht. Ein Theil der Wärme, der sonst verloren gehen würde, wird auf diese Weise dem Kessel wiedergegeben, um ihn bei der Erzeugung frischen Dampfes zu unterstützen. Wir können annehmen, daß ein Theil der Wärme auf diese Weise stets in Umlauf durch die Maschine sei. Er geht von dem Kessel in Dampfgestalt aus, treibt den Kolben, geht in den Condensator, und wird wieder in warmes Wasser verwandelt, geht dann in den warmen Brunnen, aus welchem eine Pumpe ihn wieder in den Kessel bringt, wird abermals in Dampf verwandelt und ist so stets in Bewegung.

Aus unsrer Beschreibung geht hervor, daß vier Kolben an dem Balancier befestigt sind und durch den Kolben des Dampf-Cylinders in Bewegung gesetzt werden. Auf derselben Seite von dem Mittelpunkte befindet sich mit dem Cylinder die Kol-

benstange der Luftpumpe, auf der entgegengesetzten Seite sind die Kolbenstangen der Warmwasser-Pumpe und der Kaltwasser-Pumpe, und endlich am Ende des Balanciers, der Seite gegenüber, wo der Dampfkolben arbeitet, befindet sich der Kolben der Pumpe, die von der Maschine in Bewegung gesetzt werden soll.

53.

Die Stellung dieser Kolbenstangen gegen den Mittelpunkt des Balanciers ist bedingt durch das Kolbenspiel. Wenn das Spiel des Kolbens kurz ist, so wird seine Stange nahe am Mittelpunkte befestigt; ist es länger, so hängt sie entfernter vom Mittelpunkte. Der Cylinder der Luftpumpe ist gewöhnlich halb so lang als der Dampf-Cylinder, und seine Kolbenstange hängt am Balancier genau in der Mitte zwischen dem Ende eines Armes und dem Mittelpunkte. Die Warmwasser-Pumpe, die keine beträchtliche Wassermenge heben soll, hat nur ein kurzes Kolbenspiel und ihre Kolbenstange ist daher nahe am Mittelpunkte. Weiter ist die Kolbenstange der Kaltwasser-Pumpe davon entfernt.

54.

Watt machte diese Verbesserungen wahrscheinlich um das Jahr 1763, und baute ein Modell, das seine Erwartungen vollkommen befriedigte. Sei es Mangel an Einfluß oder Furcht vor Vorurtheilen und vor Widerstand, er machte seine Entdeckung nicht bekannt, und wagte damals keinen Versuch, sie durch ein Patent zu sichern. Als Feldmesser angestellt, ward er mit Dr. Roebuck bekannt, der zu jener Zeit in bedeutende bergmännische Speculationen sich eingelassen hatte, einiges Vermögen besaß und ein sehr unternehmender Kopf war. Von Roebuck unterstützt und ermuntert, baute Watt eine Dampfmaschine nach seinen neuen Angaben in einem Kohlenbergwerke des Herzogs von Hamilton zu Kirneil unweit Burrowstoneß in Schottland. Diese Maschine, eine Art von Versuchwerk, wurde von Zeit zu Zeit verbessert, wie die Umstände es an die Hand gaben, bis sie endlich zu bedeutender Vollkommenheit gelangte. Während sie errichtet wurde, bewarb sich Watt in Verbindung mit

Roebuck um ein Patent, das im Jahre 1769 ausgefertigt wurde.

Er war nun vorbereitet, eine Fabrik von den neuen Maschinen im Großen anzulegen, als sein Gesellschafter Roebuck durch eine verunglückte bergmännische Unternehmung einen bedeutenden Vermögensverlust erlitt und in so große Verlegenheiten gerieth, daß er nicht mehr im Stande war, die Geldvorschüsse zu leisten, die Watt zur Ausführung seiner Plane brauchte. Noch einmal in seinen Hoffnungen getäuscht und unmuthig über die Schwierigkeiten, die ihm entgegentraten, wollte er seine Entwürfe aufgeben, als Matthäus Bolton, der nicht lange vorher eine Factorei in Birmingham angelegt hatte, Roebuck's Antheil an dem Patent zu kaufen wünschte. Die Unterhandlungen kamen 1773 zum Abschluße und Watt verband sich mit Bolton.

Seine Lage wurde nun ganz verändert. Bolton war nicht nur ein Mann von sehr großem Vermögen, sondern auch von bedeutendem persönlichen Einflusse, und eine innere Neigung trieb ihn, sich in große und schwierige Unternehmungen einzulassen, die er mit dem beharrlichsten Eifer und Muth verfolgte. „Watt — sagt Playfair — war fleißig und zurückhaltend, Bolton ein gewandter Mann, thätig, gesellig und im Umgange mit Personen von jedem Range freimüthig und ungezwungen. Hätte Watt in ganz Europa gesucht, er würde wahrscheinlich nicht einen andern Mann gefunden haben, so ganz geeignet, die neue Erfindung auf eine ihrer Verdienste und ihrer Wichtigkeit würdige Weise in die Welt zu bringen, und obgleich beide in ihren Lebensgewohnheiten ganz entgegengesetzt waren, so traf es sich doch glücklich, daß nie zwei Menschen in einem herzlichern Verkehr standen."

Roebuck's Mißgeschick hatte die Fortschritte der Dampfmaschinen-Fabrik so sehr gehemmt, daß Watt befürchten mußte, sein Patent erlöschen zu sehen, ehe er die nothwendigen Auslagen wiedergewonnen hatte. Auf Bolton's, Roebuck's und anderer Freunde Rath, und durch ihren Einfluß unterstützt, wendete er sich im Jahre 1775 an das Parlament, um eine Verlängerung seines Patents zu erhalten, die ihm auf 25 Jahre, also bis 1800 gewährt ward.

Es ward nun eine Maschine in Soho bei Birmingham, Bolton's Factorei, gebaut, als eine Probe für Bergbau-Unternehmer, und Dampfmaschinen fingen an gesucht zu werden. Die Art, wie Watt von denjenigen, welche von seinen Maschinen Gebrauch machten, sich eine Vergütung geben ließ, war eben so sinnreich als redlich und edel. Er verlangte, daß ihm der Betrag eines Drittheils des durch seine Maschinen, in Vergleichung mit den früher gewöhnlichen atmosphärischen, gewonnenen Ersparnisses an Steinkohlen bezahlt werden sollte. Es wurden genaue Versuche angestellt, das Kohlenersparniß zu bestimmen, und da der Betrag dieser Ersparung bei jeder Maschine von der Zeitdauer abhing, in welcher sie arbeitete, oder vielmehr von der Zahl der Kolbenhübe, so erfand Watt eine sehr sinnreiche Art, diese zu bestimmen. Die Schwingungen des großen Balanciers wurden mit einem Räderwerke in Verbindung gesetzt, eben so wie die Schwingungen eines Pendels mit einem Uhrwerke. Jede Schwingung des Balanciers bewegte einen Zahn eines kleinen Rades und die Bewegung ward einer Hand oder einem Weiser mitgetheilt, der sich auf einer nach Graden eingetheilten Platte wie auf einem Zifferblatte bewegte. Die Stellung der Hand bezeichnete die Zahl der Schwingungen des Balanciers und der davon abhangenden Kolbenhübe. Diese Vorrichtung, die der Zähler hieß, ward eingeschlossen und durch zwei verschiedene Schlüssel verwahrt, von welchen den einen der Eigenthümer behielt, den andern Watt und Bolton besaßen, deren Agenten von Zeit zu Zeit die Maschinen untersuchten. Die Zähler wurden dann von beiden Theilen geöffnet und untersucht, um die Zahl der Balancier-Schwingungen und den Betrag eines Drittheils des Kohlenersparnisses zu bestimmen*).

So offenbar die Vorzüge waren, durch welche diese Maschine vor der alten atmosphärischen sich auszeichnete, so waren doch der Einfluß des Vorurtheils und die Abneigung gegen Neuerungen zu groß, als daß es Watt leicht geworden wäre, sie in

---

*) Für drei in der Grube zu Chacewater in Cornwall errichtete Maschinen gaben die Eigenthümer jährlich als den dritten Theil des Ersparnisses 2400 Pfund Sterling.

allgemeinen Gebrauch zu bringen. Die verhältnißmäßig bedeutenden Anlagekosten wirkten der Einführung der neuen Erfindung entgegen, da die ungemeine Genauigkeit, womit alle Theile gearbeitet werden mußten, den Aufwand erhöhte. Man war oft genöthigt, die Eigenthümer der alten atmosphärischen Maschinen dadurch zu bewegen, die neuen an deren Stelle zu setzen, daß man ihnen einen ungeheuren Preis für die alten Maschinen gab. In einigen Fällen mußten Watt und Bolton Maschinen auf eigne Kosten bauen, unter der Bedingung, daß man nur in dem Falle, wenn das neue Werk die Erwartung erfüllte und die versprochenen Vortheile gewährte, Vergütung geben sollte. Bolton und Watt hatten auf diese Weise gegen 30000 Pfund Sterling ausgelegt, ehe sie irgend eine Vergütung erhielten. Betrachten wir die unermeßlichen Vortheile, welche dem britischen Handel durch die Verbesserungen der Dampfmaschine zugeflossen sind, so können wir nur mit Widerwillen auf den Einfluß jener unseligen Vorurtheile zurückblicken, die sich der fortschreitenden Verbesserung widersetzen, unter dem Vorwande, Neuerungen zu widerstehen. Es würde eine merkwürdige Rechnung sein, zu bestimmen, wie viele Hilfsmittel England verloren haben würde, wenn der Zufall nicht den Geist eines Watt mit dem Muth, der Unternehmungslust und dem Reichthum eines Bolton vereint hätte. Das Ergebniß würde nicht sehr ehrenvoll für diejenigen sein, die Neuheit allein für einen hinreichenden Grund zum Widerstande halten.

Sechster Abschnitt.

Die doppelt wirkende Dampfmaschine.

55.

In Newcomen's atmosphärischer Maschine und in Watt's verbesserter Maschine, die wir im vorigen Abschnitte beschrieben haben, ist die bewegende Kraft eine nachlassende. Während der Kolben hinabsteigt, wirkt die bewegende Kraft, aber während des Aufsteigens ist sie unterbrochen. So kann der entgegengesetzte oder wirkende Arm des Balanciers nur in Fällen gebraucht werden, wo eine hebende Kraft verlangt wird. Diese Wirkung war ganz passend, wo eine Pumpe bewegt werden sollte, was zu jener Zeit der Hauptzweck war, den man durch die Dampfmaschine erreichen wollte. Bei einer umfassenden Anwendung der Maschine aber würde diese Unterbrechung der bewegenden Kraft und ihre nur in einer Richtung wirkende Thätigkeit unzulässig sein. In Manufakturen ist zur Bewegung eines immer gebrauchten Maschinenwerkes eine beständige und gleichförmige Kraft erfoderlich, und um die Dampfmaschine zu diesem Zwecke dienlich zu machen, wäre es nothwendig, daß der Balancier bei dem Aufsteigen, wie bei dem Niedersteigen, durch die bewegende Kraft getrieben würde.

Als Watt zuerst den Gedanken faßte, die Dampfmaschine in Manufakturen anzuwenden, wollte er, um die doppelte Wirkung auf den Balancier hervorzubringen, einen Dampf-Cylinder unter jeden Arm desselben stellen, so daß, während jeder der Kolben, nicht vom Dampfe getrieben,

aufstiege, der andere niederstiege, indem er durch den Dampf über ihm, der gegen den luftleeren Raum wirkte, hinabgedrückt würde. Während auf diese Weise die Kraft auf jeden wirkte in der Zeit, wo ihre Wirkung auf den andern unterbrochen wäre, würde eine beständige Kraftwirkung auf den Balancier statt finden, und eine gleichförmige Bewegung erlangt werden, wenn beide Cylinder mit demselben Kessel in Verbindung gesetzt würden, so daß ein Dampf von demselben Drucke beide Kolben triebe. Auch könnte ein Condensator für beide Cylinder dienen, indem unter jedem ein gleicher luftleerer Raum erzeugt würde.

Dieser Plan ward indeß bald mit einem weit einfacheren vertauscht. Die neue Vorrichtung bestand darin, daß genau dieselbe Wirkung durch einen einzigen Cylinder hervorgebracht wurde, in welchem der Dampf abwechselnd über und unter dem Kolben eingelassen ward und zu gleicher Zeit in den Condensator auf der andern Seite überging. Ist der Kolben in dem obern Theile des Cylinders, so strömt aus dem Kessel über ihm Dampf ein, während der Dampf unter ihm in den Condensator abgeführt wird. Der Kolben wird daher von oben in den untern luftleeren Raum hinabgedrückt bis auf den Boden des Cylinders. Hat er diesen erreicht, so wird alle Verbindung zwischen dem obern Theile des Cylinders und dem Kessel abgeschnitten und dagegen eine Verbindung zwischen ihm und dem Condensator eröffnet. Der Dampf, welcher den Kolben niedergedrückt hat, wird daher von dem Condensator aufgenommen, während eine Verbindung zwischen dem Kessel und dem Boden des Cylinders eröffnet wird, um Dampf unter dem Kolben einströmen zu lassen. Der Kolben, von unten in den obern luftleeren Raum getrieben, steigt aufwärts, und auf dieselbe Weise wird die abwechselnde Bewegung fortgesetzt. Dieß ist das Princip der sogenannten doppelt wirkenden Dampfmaschine, im Gegensatze der im vorigen Abschnitte beschriebenen, in welcher der Dampf nur über dem Kolben wirkt, während unter ihm ein luftleerer Raum erzeugt wird.

Es ist klar, daß bei der eben beschriebenen Vorrichtung der Condensator in steter Thätigkeit ist; während der Kolben niedersteigt, muß der Condensator den Dampf unter demselben, und während der Kolben aufsteigt, den Dampf über ihm ausziehen. Da nun beständig Dampf in den Condensator aufgenommen wird, so muß die condensirende Einspritzung des kalten Wassers ununterbrochen fortdauern. Diese Einspritzung wird daher nicht durch ein abwechselnd sich öffnendes und schließendes Ventil bewirkt werden, wie in der einfach wirkenden Dampfmaschine, sondern durch einen Hahn, dessen Oeffnung nach der Menge von kaltem Wasser sich richtet, das zur Condensirung des Dampfes nöthig ist. Wird Dampf von niederem Drucke gebraucht, so wird weniger Condensationswasser nöthig sein, als wenn Dampf von höherem Drucke erfoderlich ist. In dem einen Falle wird daher der Condensationshahn weniger offen sein als in dem andern. Auch wird sich die Menge des Condensationswassers nach dem Grade der Geschwindigkeit richten, mit welcher die Maschine arbeitet; denn je größer diese Geschwindigkeit ist, desto schneller wird der Dampf aus dem Cylinder in den Condensator strömen, und da dieselbe Menge von Dampf dieselbe Menge von Condensationswasser verlangt, so muß der Zufluß dieses Wassers mit der Geschwindigkeit der Maschine in Verhältniß stehen. Bei der doppelt wirkenden Maschine wird der Condensationshahn durch einen an einer Spindel befindlichen Handgriff bewegt, wie es der Werkmeister für die Wirkung der Maschine nöthig findet.

Die hier eingeführte Veränderung in der Wirkung des Dampfes auf den Kolben machte es nothwendig, auch in der Art, wie die Kolbenstange an den Balancier befestigt wurde, eine übereinstimmende Veränderung anzubringen. In der einfach wirkenden Maschine zog die Kolbenstange das Ende des Balanciers bei dem Niedersteigen herab und wurde bei dem Aufsteigen von demselben heraufgezogen. Zu diesem Zwecke war zwischen dem Balancier und dem Kolben eine biegsame Kette angebracht, welche von dem Ende des Kolbens ausging und am bogenförmigen Ende des Balancier=

Armes wirkte. Da nun aber die nöthige mechanische Wirkung nicht mehr ein Ziehen war, wozu eine biegsame Kette gebraucht werden konnte, sondern eine Stoßbewegung erfodert wurde, so war die Kette nicht mehr anwendbar. In der doppelt wirkenden Maschine zieht die Kolbenstange bei dem Niedersteigen zwar noch immer den Balancier herab und insofern würde eine Kette hinlänglich gewesen sein, die hier erfoderliche Bewegung zu bewirken; bei dem Aufsteigen aber zieht der Balancier die Kolbenstange nicht mehr, sondern wird von ihr hinaufgestoßen, und die bei der einfach wirkenden Maschine beschriebene Kette würde diese Bewegung nicht mittheilen können. Wenn eine solche Kette bei der doppelt wirkenden Maschine angewendet würde, welche kein Gegengewicht am andern Ende des Balanciers hat, so müßte bei dem Aufsteigen des Kolbens die Kette schlaff werden und der Balancier könnte nicht aufwärts gehen. Es war daher nöthig, eine andere mechanische Verbindung zwischen der Kolbenstange und dem Balancier anzugeben, die von der Art war, daß bei dem Niedersteigen die Kolbenstange den Balancier ziehen, bei dem Aufsteigen aber ihn hiaufstoßen konnte.

Zu diesem Zwecke wollte Watt anfänglich an das Ende der Kolbenstange eine gezähnte Stange befestigen, die in andere Zähne am bogenförmigen Ende des Balanciers eingreifen sollte, wie Fig. 15 zeigt. Hätten seine verbesserten Dampfmaschinen keine weitere Genauigkeit in ihrer Wirkung und ihrer Einrichtung verlangt, als die atmosphärischen Maschinen, so wäre dieß wohl hinreichend gewesen; aber bei diesen Maschinen war es unumgänglich nothwendig, daß sich die Kolbenstange sanft und gleichförmig in der Stopfbüchse im oberen Theile des Cylinders bewegte, weil sie bei jeder Erschütterung oder Unregelmäßigkeit locker in ihrer Stopfbüchse geworden wäre und Luft eingelassen oder Dampf hinausgelassen hätte. Die Kolbenstangen mußten vollkommen in die Stopfbüchsen passen, um mit gehöriger Genauigkeit in dem Cylinder sich zu bewegen. Unter diesen Umständen war die vorgeschlagene Vorrichtung einer gezähnten Stoßstange unzulässig,

da es unmöglich war, durch solche Mittel der Kolbenstange die erfoderliche sanfte und gleiche Bewegung zu geben. Später kam Watt auf den Gedanken, an das obere Ende der Kolbenstange einen Balken zu befestigen, der über den Balancier hinausgehen sollte, und zwei Ketten anzuwenden, von welchen eine von dem obern Ende jenes Balkens zu dem untern Ende des bogenförmigen Balancier-Armes, das andere vom untern Theile des Balkens zum obern Ende des Balanciers gehen sollte. Durch diese Vorrichtung würde die zweite Kette den Balancier bei dem Niedersteigen des Kolbens herabgezogen, die erste Kette hingegen bei dem Aufsteigen ihn hinaufgezogen haben. Diese Erfindungen wurden jedoch durch jenen berühmten Mechanismus verdrängt, den man später die Parallel-Bewegung nannte, eine der sinnreichsten mechanischen Combinationen, die mit der Geschichte der Dampfmaschine verbunden sind.

Man bemerke, daß es darauf ankam, durch ein nicht biegsames Mittel das Ende der Kolbenstange mit dem Ende des Balanciers zu verbinden und den Mechanismus so einzurichten, daß, während das Ende des Balanciers sich abwechselnd in einem Kreise auf und nieder bewegte, das mit dem Balancier verbundene Ende der Kolbenstange sich genau in gerader Linie auf und nieder bewegte. Würde das Ende der Kolbenstange an dem Ende des Balancier-Armes mittels eines Zapfens ohne weitere Verbindung befestigt, so müßte es, da es in einem Kreisbogen auf und nieder bewegt würde, sich abwechselnd rechts und links biegen, und daher zerbrechen oder eine lockere Bewegung der Stange in der Stopfbüchse unvermeidlich sein. Statt nun das Ende der Kolbenstange unmittelbar mit dem Ende des Balanciers durch einen Zapfen zu verbinden, zog Watt eine Verbindung derselben durch bewegliche Stangen vor, die so eingerichtet sind, daß, wenn das Ende des Balanciers sich im Kreisbogen auf und nieder bewegt, die Stangen sich dieser Bewegung dergestalt fügen, daß das mit der Kolbenstange verbundene Ende nicht von seinem geradlinigen Gange abweiche.

Sehen wir nun, auf welche Weise er zu diesem Zwecke drei Stangen verband.

AB und CD (Fig. 16) sind zwei Stangen oder Hebel, die sich auf festen Zapfen oder Mittelpunkten A und C bewegen. Eine dritte Stange BD ist mit ihnen durch Zapfen an ihren Endpunkten B und D verbunden, und die Stangen sind so gestellt, daß, wenn AB und CD horizontal sind, BD senkrecht sein muß, und AB und CD sind von gleicher Länge. Nehmen wir an, es befinde sich ein Stift in P genau in der Mitte der Stange BD. Bewegte sich nun die Stange AB auf und nieder, wie der Balancier in dem in der Figur dargestellten Bogen, so müßte bei der Art ihrer Verbindung die Stange CD in dem andern Bogen auf und nieder bewegt werden. Unter solchen Umständen mußte sich, nach Watt's Idee, der Stift P in einer senkrechten geraden Linie auf und nieder bewegen.

Wie schwierig auch der erste Gedanke dieses Mechanismus erscheinen mochte, es läßt sich leicht einsehen, warum die verlangte Wirkung dadurch hervorgebracht wird. Steigt die Stange AB zu dem obern Ende des Bogens, so weicht der Punkt B ein wenig rechts ab, und zu gleicher Zeit bewegt sich der Punkt D ein wenig links. Da nun die Endpunkte der Stange BD zu gleicher Zeit in etwas entgegengesetzten Richtungen bewegt werden, so wird der Stift in der Mitte derselben gerade aufwärts steigen, indem das eine Ende der Stange ihn eben so sehr rechts als das andere links zu ziehen sucht. Bewegt sich die Stange AB zu dem untern Ende des Bogens, so wird die Stange CD auf gleiche Weise zu dem untern Ende ihres Bogens bewegt werden. Der Punkt B wird dann ein wenig rechts, der Punkt D links gerückt werden, und aus demselben Grunde wie vorher, wird sich der Punkt P in der Mitte weder rechts noch links, sondern gerade abwärts bewegen.

Watt glaubte seinen Zweck zu erreichen, wenn es ihm gelänge, den Balancier die Bewegung von AB (Fig. 16) ausführen zu lassen und mit ihm zwei andere Stangen CD und DB zu verbinden, indem er das Ende des Kolbens an

der Mitte der Stange DB befestigte. Die praktische Anwendung dieses Prinzips machte einige Veränderungen nöthig, die Ausführung ist aber eben so schön als die Idee an sich sinnreich. Die Vorrichtung ist an dem Arme dargestellt, der den Kolben in Fig. 17 bewegt. Da sich der Balancier auf seiner Achse C bewegt, so bewegt sich jeder Punkt seines Armes in einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt C ist. Es sei B der Punkt, der den Arm AC in gleiche Theile AB und BC theilt, und DE sei eine gerade Stange von gleicher Länge mit CB, auf dem festen Centrum oder Zapfen D sich bewegend. Das Ende E dieser Stange ist mittels einer geraden Stange EB verbunden mit dem Punkte B, durch Zapfen bei B und E, auf welchen die Stange BE frei spielt. Wenn sich der Balancier abwechselnd auf seiner Achse C bewegt, so wird sich der Punkt B in einem Kreisbogen auf und nieder bewegen, von welchem C der Mittelpunkt ist, und zu gleicher Zeit bewegt sich der Punkt E in einem gleichen Kreisbogen um den Punkt D als Mittelpunkt. Nach unserer bereits gegebenen Erklärung wird sich der mittlere Punkt F der Stange BE in einer geraden Linie auf und nieder bewegen.

Die Stange AG, von gleicher Länge mit BE, sei an das Ende A des Balanciers mittels eines Zapfens befestigt, auf welchem sie sich frei bewegt, und ihr Endpunkt G sei mit E durch eine Stange GE verbunden, von gleicher Länge mit AB und auf den Zapfen G und E sich bewegend.

Da durch diese Vorrichtung AG stets parallel mit BE ist, so werden die drei Punkte C A und G in ganz gleichen Verhältnissen mit den Punkten C B und F sein, ausgenommen daß das System CAG doppelt so groß ist als CBF, indem CA die doppelte Länge von CB und AG die doppelte Länge von BF hat, so ist es klar, daß, welchen Gang auch der Punkt F nehme, der Punkt G einer gleichen Linie folgt,*) aber sich doppelt so schnell bewegt. Da aber, wie schon gezeigt ist,

*) Es tritt hier das Princip des Pantographs ein. Die Punkte CF und G liegen offenbar in derselben geraden Linie, da CB : CA = BF : AG und die letzten Linien parallel sind. Nimmt man C als den gemeinschaftli-

der Punkt F sich in einer geraden Linie auf und nieder bewegt, so muß sich auch der Punkt G in einer geraden Linie, aber von doppelter Länge bewegen.*)

Durch diese Vorrichtung werden die Kolben des Dampf-Cylinders sowohl als der Luftpumpe in Bewegung gesetzt; die Stange der letzten ist an den Punkt F, die Stange des ersten an den Punkt G befestigt.

Diese schöne Erfindung, unstreitig eine der glücklichsten, die wir Watt's mechanischem Genie verdanken, zeigt uns, mit welcher Leichtigkeit der Geist eines praktischen Mechanikers, gleichsam durch innere Anschauung, zu einem Ergebnisse kommen kann, das der bloße Theoretiker nicht ohne die verwickeltste mathematische Analyse finden würde. Als Watt von Personen, die seiner Erfindung gerechte Bewunderung zollten, gefragt wurde, zu welcher Reihe von Forschungen er seine Erfindung zurückführen könne, gab er zur Antwort, er wisse sich keiner zu erinnern; der Gedanke sei ohne vorherige Forschungen wie ein Blitz vor seine Seele getreten; er sei selber über die Vollkommenheit erstaunt gewesen, welche seine Erfindung bei der wirklichen Ausführung gezeigt habe, und bei dem Anblicke des vollendeten Werkes habe er die angenehmen Regungen empfunden, welche die erste Betrachtung der neuen Erfindung eines anderen gewähre.

Auch diese Erfindung Watt's und andere, die wir ihm verdanken, waren, wie es scheint, reine Schöpfungen seines natürlichen Genies, das wenig durch die Ergebnisse der Erfahrung und gar nicht durch das Licht wissenschaftlicher Vorbildung unterstützt ward. Er hatte, scheint es, auch als Mechaniker keine praktische Gewandtheit, und nahm an der

---

chen Pol der Punkte FG, so wird der radius vector des einen immer das Doppelte des entsprechenden radius vector des andern sein. Diese Curven sind daher gleich gestellt und parallel.

*) Es ist nicht nothwendig, daß sich die Stangen, welche die Parallel-Bewegung hervorbringen, die Verhältnisse haben, welche wir ihnen gegeben haben. Es gibt verschiedene Verhältnisse, die dem Zwecke angemessen sind, wie man aus den praktischen Werken über Dampfmaschinen lernen ann.

Verfertigung der ersten Modelle seiner eigenen Erfindungen keinen Antheil. Seine Wohnung lag eine Stunde von der Factorei zu Soho, wohin er nur einmal wöchentlich kam, um höchstens eine halbe Stunde zu verweilen.

56.

Als auf diese Weise ein vollkommenes Mittel gefunden war, die abwechselnde Bewegung des Kolbens dem Balancier mitzutheilen, wurde der Gebrauch eines Gegenwichtes zur Hebung des Kolbens aufgegeben; und der Balancier mußte sich auf seinem Mittelpunkte selbst im Gleichgewichte erhalten. Der zunächst zu erreichende Zweck war, die wechselseitige Bewegung des wirkenden Armes des Balanciers einem Maschinenwerke mitzutheilen. Zu diesem Zwecke ist eine fortdauernde wälzende (rotirende) Bewegung die nützlichste. Die Aufgabe war daher, durch eine abwechselnde Bewegung des Balancier-Armes einer Achse eine wälzende Bewegung zu geben. Watt wählte dazu anfänglich eine Kurbel, die mit dem Balancier-Arme durch eine Metallstange verbunden war.

Es sei K das Centrum oder die Achse, oder Stange, durch welche die Maschine in Bewegung gesetzt und welcher eine rotirende Bewegung durch den Balancier CH mitgetheilt werden soll. Auf der Achse K ist ein Hebel KI befestigt, so daß, wenn KI sich um den Mittelpunkt K dreht, das Rad sich gleichzeitig drehen muß. Eine Verbindungs-Stange HI werde an die Punkte H und I befestigt, und bewege sich frei auf Zapfen oder Gewinden. Wenn sich das Ende H aufwärts und abwärts bewegt, so wird der Hebel KI um das Centrum K sich drehen und der Stange, die sich um jenen Mittelpunkt dreht, eine fortdauernd wälzende Bewegung geben. Die verschiedenen Stellungen, welche die Verbindungs-Stange und der Hebel KI auf den verschiedenen Punkten einer Umdrehung einnehmen, sind in Fig. 18 angegeben.

57.

Dieß war Watt's erster Versuch, eine fortdauernd wälzende Bewegung durch die Schwingungen des Balanciers her-

vorzubringen, und diese Methode ist jetzt allgemein gebräuchlich. Ein Arbeiter in Watt's Factorei, der das Modell sah, theilte die Idee einem gewissen Washborough in Bristol mit, welcher Watt in der Bewerbung um ein Patent zuvorkam, und obgleich der Erfinder dagegen mit Erfolg hätte auftreten können, so wollte er sich doch nicht in Streitigkeiten einlassen, sondern gab den Gedanken auf und erfand ein anderes Mittel, dieselbe Wirkung hervorzubringen, welches er Sonnen- und Planeten-Rad nannte und bis zur Erlöschung von Washborough's Patent gebrauchte, wo er wieder zu der Kurbel überging.

Das gezähnte Rad B (Fig. 19) wird an das Ende der Verbindungsstange befestigt, so daß es sich nicht um seine Achse bewegt. Die Zähne dieses Rades greifen in ein anderes Zahnrad A, dem die rotirende Bewegung mitgetheilt werden soll und das bewegt wird von dem sich um dasselbe drehenden Rade B, auf welches die von dem Balancier bewegte Verbindungsstange HI wirkt. Das Rad A heißt das Sonnenrad und B das Planetenrad. Diese Erfindung, obgleich sie in der Hauptsache der einfacheren Kurbel nachsteht, ist doch auch nicht ohne Vorzüge. Wir erwähnen nur, daß hier das Sonnenrad eine doppelte Geschwindigkeit erhält; denn bei der Kurbel wird nur eine Umdrehung um die Achse durch eine Umdrehung der Kurbel hervorgebracht, aber bei dem Sonnen- und Planetenrade werden zwei Umdrehungen des Sonnenrades durch eine des Planetenrades erlangt, und so wird durch dieselbe Bewegung des Balanciers eine doppelte Geschwindigkeit gewonnen. Dieß wird einleuchten bei der Erwägung, daß, wenn das Planetenrad seinen höchsten Stand hat, sein unterster Zahn in den höchsten Zahn des Sonnenrades eingreift; geht das Planetenrad von seinem höchsten Stande abwärts, so treiben seine Zähne das Sonnenrad vor sich her, und kommt es in den niedrigsten Stand, so greift der höchste Zahn des Planetenrades in den untersten des Sonnenrades, aber dann hat die Hälfte des Sonnenrades sich um das Planetenrad gedreht, und daher muß der Zahn, der in seiner höchsten Stellung in das Rad griff, um den halben Umfang des Rades von ihm entfernt, und also wieder in dem höchsten Stande sein, so daß, während das Planetenrad von dem

obersten zu dem untersten Punkte kommt, das Sonnenrad eine ganze Umdrehung gemacht hat. Einiges Nachdenken über die Beschaffenheit der Bewegung wird dieß deutlicher machen, als es jede Beschreibung vermag. Dieser Vortheil, eine größere Geschwindigkeit hervorzubringen, läßt sich auch durch die einfachere Kurbel erlangen, wenn man gezähnte Räder auf ihre Achse stellt. Abgesehen von den größeren Kosten, die mit der Einrichtung eines Sonnen- uud Planeten-Rades verbunden sind, ist es so leicht Störungen in seinem Gange unterworfen und die Zähne nutzen sich so schnell ab, daß man der Kurbel mit Recht den Vorzug gegeben hat.

58.

Möge nun aber eine einfache Kurbel oder ein Sonnen- und Planetenrad gebraucht werden, es bleibt bei der fortdauernden rotirenden Bewegung noch immer eine Schwierigkeit besonderer Art zu überwinden. Es gibt zwei Stellungen, in welchen die Dampfmaschine der Kurbel gar keine Bewegung mittheilen kann. Dieß ist der Fall, wenn der Balancier-Arm, die Achse der Kurbel und der Zapfen, der die Stange HI mit der Kurbel verbindet, in einer und derselben geraden Linie sich befinden. Man wird dieß leicht einsehen. Man nehme an, der Balancier, die Verbindungsstange und die Kurbel seien in der Stellung, die Fig. 17 zeigt. Wenn der Dampf den Kolben niederdrückt, so werden der Punkt H und die Verbindungsstange gerade aufwärts gezogen. Aber es ist klar, daß in der gegenwärtigen Lage der Verbindungsstange HI und des Hebels IK die Kraft, welche den Punkt I in der Richtung IK zieht, gar nicht darauf wirken kann, IK um das Centrum K zu bewegen, sondern bloß einen Druck auf die Achse oder die Zapfen des Rades ausübt.

Nehmen wir ferner an, die Kurbel und die Verbindungsstange seien in der Stellung HIK (Fig. 18), der Kolben habe folglich den Boden des Cylinders erreicht. Drückt nun der Dampf den Kolben a u f w ä r t s, so werden die Zapfen H und die Verbindungsstange HI a b w ä r t s gedrückt, und dieser Druck wird die Kurbel IK in der Richtung IK treiben. Es ist offenbar, daß eine solche Kraft die Kurbel nicht um das Cen-

trum K drehen und keine andere Wirkung haben kann, als einen Druck auf die Achse oder die Zapfen des Rades.

In diesen beiden Stellungen kann daher die Dampfmaschine gar nicht auf die Umdrehung der Kurbel wirken. Wie aber läßt sich die Schwierigkeit heben, in welche die Maschine zweimal bei jeder Umdrehung geräth, wenn die Stellungen eintreten, wo die Kurbel sich dem Einflusse der wirkenden Kraft entzieht? Körper haben das Streben, die Bewegung, in welche sie einmal gebracht sind, fortzusetzen, bis diese Bewegung durch eine entgegengesetzte Kraft gehemmt wird, und dieses Streben ist es, was die Kurbel aus jenen Schwierigkeiten bringt. Von der Schnelligkeit, die sie erhalten hat, während sie unter dem Einflusse der Treibkraft des Balanciers war, bleibt so viel zurück, daß sie aus der schwierigen Lage kommt, wo sie von jener Treibkraft verlassen ist. Die wälzende Bewegung, welche durch die Kurbel gewonnen werden soll, ist zwar nicht ganz durch diesen Umstand aufgehoben, wird aber sehr unregelmäßig, da im Uebergange durch die beschriebenen beiden Stellungen, wo die Maschine ihre Wirkung auf die Kurbel verliert, die Bewegung sehr langsam wird, und in den Stellungen der Kurbel, die von jenen am meisten entfernt sind und wo die Wirkungskraft des Balanciers am größten ist, wird die Bewegung sehr schnell sein. Wenn nun die Kurbel von jeder der Stellungen, wo die Wirkungskraft der Maschine auf dieselbe am größten ist, zu denjenigen übergeht, wo diese Kraft sich ganz verliert, so wird sie stets vermindert, so daß die Kurbel wirklich durch eine abwechselnde Kraft getrieben wird und daher eine abwechselnde Bewegung hervorbringt. Man wird dieß leicht einsehen, wenn man die nach einander eintretenden Stellungen der Kurbel und der Verbindungsstange HI betrachtet, die Fig. 18 zeigt. Jene veränderliche Bewegung ist besonders nachtheilig, wenn die Dampfmaschine ein Maschinenwerk treiben soll. Diesem Uebel abzuhelfen, benutzen wir die bereits erwähnte Eigenschaft der Körper, ihr Streben nämlich, eine einmal ihnen mitgetheilte Bewegung zu behalten. Ein großes metallnes Rad, Schwungrad genannt, wird auf die Achse der Kurbel gestellt (Fig. 17) und durch sie gedreht. Dieses Rad macht die Bewegung gleichförmig, welche

durch die Wirkung des Balanciers auf die Kurbel mitgetheilt wird, da diese Wirkung gerade hinreichend ist, das Schwungrad in einer gleichförmigen Geschwindigkeit zu erhalten, und das Streben dieses Rades, die empfangene Geschwindigkeit zu behalten, gibt dem Umschwunge eine für alle praktischen Zwecke hinlängliche Gleichförmigkeit.

Nur unter zwei Bedingungen aber wird diese Gleichförmigkeit fortdauern, erstens wenn der Dampfzufluß aus dem Kessel gleichförmig ist, und zweitens, wenn die Maschine stets denselben Widerstand zu überwinden hat oder stets eine gleichförmige Last hat. Wird der Dampfzufluß vermehrt, so wird die Bewegung des Kolbens beschleunigt, und es wird daher auch der Umschwung des Schwungrades schneller werden, wie im Gegentheil ein verminderter Dampfzufluß die Bewegung des Rades verzögern wird. Wenn aber der Widerstand oder die Last vermindert wird und dabei der Dampfzufluß sich gleich bleibt, so wird die Geschwindigkeit zunehmen, da der bewegenden Kraft ein geringerer Widerstand entgegensteht; wird aber der Widerstand oder die Last vermehrt, so wird die Geschwindigkeit des Umschwunges vermindert, weil sich derselben bewegenden Kraft ein größerer Widerstand entgegenstellt. Um eine gleichförmige Geschwindigkeit bei allen Veränderungen der Last oder des Widerstandes zu bewirken, ist es nothwendig, den Dampfzufluß in ein Verhältniß zu dem Widerstande zu setzen, so daß bei der geringsten Veränderung in der Geschwindigkeit der Dampfzufluß vermehrt oder vermindert wird, um die Maschine stets in gleichem Gange zu erhalten.

59.

Eine der interessantesten Zubehörungen der Dampfmaschine ist die von Watt erfundene Vorrichtung zur Erreichung dieses Zweckes. Eine Vorrichtung, Regulator genannt, war schon lange in den Mühlen bekannt, um den Gang der Mühlsteine gleichförmig zu machen, und ward auch bei Maschinenwerken gebraucht. Watt kam auf eine schöne Anwendung dieses Mittels für die Regulirung der Dampfmaschine. In der Röhre, welche den Dampf aus dem Kessel in den Cylinder führt,

brachte er eine dünne kreisförmige Platte an, so daß, wenn ihre Vorderseite der Länge der Röhre gleich lief, sie dieselbe beinahe verschloß und nur wenig oder gar keinen Dampf durchließ, wenn aber ihr Rand der Richtung der Röhre folgte, dem Dampfzuflusse kein Hinderniß entgegenstand. Diese Platte war so eingerichtet, daß sie sich auf einem Durchmesser als einer Achse bewegte, die durch das Centrum der Röhre ging, und sie wurde durch einen Hebel außerhalb der Röhre bewegt. Nach der ihr gegebenen Stellung ließ sie mehr oder weniger Dampf durch. Wurde sie mit ihrem Rande beinahe der Richtung der Röhre gleichgestellt, so war der Dampfzufluß stark, stand sie mit ihrer Vorderseite in der Richtung des Laufes der Röhre, so strömte weniger Dampf zu, und durch die diesem Ventil gegebene Stellung konnte, wie es scheint, der Dampf in jeder beliebigen Menge dem Cylinder zugemessen werden.

Nach der anfänglichen Einrichtung sollte ein Maschinenaufseher diesem Ventil mit der Hand die Richtung geben, und wenn die Maschine zu schnell ging, den Dampfzufluß durch theilweises Schließen des Ventils hemmen, war hingegen die Bewegung zu langsam, es öffnen und mehr Dampf zuströmen lassen. Watt war damit nicht zufrieden, und nach seinem Wunsche sollte die Maschine selbst dieses Geschäft mit größerer Regelmäßigkeit verrichten, als es ein Arbeiter vermochte, und zu diesem Zwecke gebrauchte er den erwähnten Regulator oder das konische Ventil. Diese Vorrichtung ist in Fig. 17 dargestellt, wo L eine senkrechte Achse ist, an welcher das Rad M mit einer Fuge befestigt wird. Eine Schnur, welche auf die Achse des Schwungrades gerollt ist, geht um die Fuge in dem Rade M. Mittels dieser Schnur wird die Umdrehung des Schwungrades eine Umdrehung des Rades M und der Achse L bewirken und die Geschwindigkeit des einen immer in demselben Verhältnisse die Geschwindigkeit des andern vermehren oder vermindern. Zwei schwere Metallkugeln NN befinden sich am Ende von Stäben, die sich auf einer Achse bewegen, welche an die sich umdrehende Stange bei O befestigt ist, und sich über die Achse hinaus bis QQ erstrecken. Mit diesen sind bei QQ durch Gewinde zwei andere Stäbe QR verbunden, die an einen Metall-

ring bevestigt sind, der sich frei an der sich umdrehenden Stange auf und nieder bewegt. Dieser Ring ist an einen Hebel befestigt, dessen Mittelpunkt S ist, und durch eine Reihe von Hebeln mit dem Ventil T verbunden. Wenn die Geschwindigkeit des Schwungrades sehr beschleunigt ist, wird die Spindel L mit großer Geschwindigkeit umgetrieben und die Kugeln NN entfernen sich vermöge der Fliehkraft vom Centrum. Die Hebel, die auf der Achse O spielen, werden durch jene Bewegung von einander entfernt, drücken dann die Gewinde QQ nieder, ziehen die Gewinde R herab und mit ihnen den Metallring, der sich auf der Spindel bewegt. Dadurch wird das Ende des auf S spielenden Hebels niedergedrückt und das Ende V gehoben, und die Bewegung wird dem Ventil T mitgetheilt, welches dadurch zum Theil verschlossen wird, wodurch eine Hemmung des Dampfzuflusses entsteht. Vermindert sich dagegen die Geschwindigkeit des Schwungrades, so nähern sich die Kugeln wieder der Achse, und indem die entgegengesetzten Wirkungen eintreten, wird der Dampfznfluß vermehrt und die Geschwindigkeit wieder hergestellt.

Der eigenthümliche Vorzug dieser Vorrichtung besteht darin, daß bei jeder Stellung, worein die Kugeln auch kommen mögen, die Geschwindigkeit, mit welcher der Regulator sich umdreht, dieselbe sein muß,*) und darin besteht seine ganze Wirksamkeit als Regulator. Seine regulirende Kraft ist be-

---

*) Dieß ist genau genommen nur dann wahr, wenn die Abweichung der Stäbe von der Spindel nicht beträchtlich ist, und in der Praxis ist die Abweichung nie so groß, daß sie jene Behauptung unwahr machte. Diese Eigenschaft des konischen Pendels beruht darin, daß die Fliehkraft in diesem Fall veränderlich ist, wie der Halbmesser des Kreises, in welchem die Kugeln sich bewegen, und geschieht dieß, so ist die periodische Zeit beständig. Die Zeit eines Umschwunges der Kugeln ist gleich der doppelten Zeit, in welcher jede Kugel als ein gewöhnliches Pendel auf dem Centrum sich schwingen würde, und wie alle ihre Schwingungen, obgleich die Bögen ungleich sind, gleiche Zeitdauer haben, wenn anders jene Bögen klein sind, so ist auch die periodische Zeit der umschwingenden Kugel unveränderlich. Diese Bemerkungen gelten jedoch nur, wenn die Kugeln sich genau in einer kreisförmigen Bewegung halten.

schränkt und nur für geringe Veränderungen der Geschwindigkeit ist er empfindlich. Man sieht leicht ein, daß für eine solche Geschwindigkeit, als auf der einen Seite die Kugeln nöthigen würde, zu den äußersten Endpunkten ihres Schwingungskreises zu fliegen, oder auf der andern auf ihre Stützen zurückzufallen, der Regulator nicht empfindlich sein würde.

Wir haben nun die Haupttheile der doppelt wirkenden Dampfmaschine beschrieben, und gehen zu den Ventilen und der Steuerung derselben über.

60.

Watt erhielt auf die verschiedenen oben beschriebenen Verbesserungen im Jahre 1782 ein Patent. Die Maschine kam nun immer mehr in Aufnahme, da ihre Herrschaft in den Manufakturen durch das S c h w u n g r a d, die K u r b e l und den R e g u l a t o r entschieden war. Ihre Bewegnngen wurden mittels dieser Zubehörungen mit der größten Genauigkeit geleitet, so daß die fast unermeßliche Kraft, die sie ausübte, so strenge geregelt war als der Gang einer Uhr. Es gibt keine Manufaktur, auf welche die Dampfmaschine nicht anwendbar wäre, von der Kraft, welche die feinsten Fäden spinnt oder die zartesten Gewebe webt, bis zu derjenigen, welche die ungeheuersten Gewichte heben oder den unermeßlichsten Widerstand besiegen muß. So viele Verbesserungen die Dampfmaschine in neuern Zeiten erhalten hat, so ist es doch nicht zu läugnen, daß sie ihre wesentlichen Vollkommenheiten und jene Eigenschaften, deren Einfluß in der ganzen gesitteten Welt empfunden wird, dem überlegenen Geiste eines einzigen Mannes verdankt, eines Mannes, der weder den Einfluß des Reichthums und des Ranges, noch Vorzüge der Bildung besaß, um jenen ersten Anstoß geben zu können, der so oft nöthig ist, den Erzeugnissen des Genius Anerkennung und Verbreitung zu verschaffen.

Die Steuerung der Ventile in der doppelt wirkenden Dampfmaschine hat den Erfindungsgeist vielfach angeregt, und es sind viele glückliche Ideen in's Leben getreten, aber auch hier hat Watt's Erfindungskraft seinen Nachfolgern vorgegrif-

sen und seine Angaben werden fast allgemein angewendet. Um aber die Wirkung der verschiedenen Ventil-Systeme zu begreifen, die wir beschreiben wollen, müssen wir uns erinnern, auf welche Weise der Dampf dem Cylinder zugeführt und ihm entzogen wird. Wenn der Kolben in dem oberen Theile des Cylinders ist, so wird der Dampf unter demselben in den Condensator abgeführt und aus dem Kessel strömt über ihm Dampf ein. Ist er wieder auf dem Boden des Cylinders, so geht der Dampf über ihm in den Condensator über und aus dem Kessel wird unter ihm Dampf eingelassen.

In Watt's älteren Maschinen geschah dieß durch vier Ventile, die paarweise geöffnet und geschlossen wurden. In dem obern Theile und in dem Boden des Cylinders befanden sich Ventil-Büchsen, deren jede durch Röhren sowohl mit der aus dem Kessel hervorgehenden Dampfröhre als mit dem Condensator in Verbindung stand. Jede Ventil-Büchse enthielt daher zwei Ventile, wovon das eine den Dampf aus der Dampfröhre in den Cylinder führte, das andere ihn in den Condensator strömen ließ, ein Dampf-Ventil und ein Ausleerungs-Ventil. In dem obern Theile des Cylinders heißen sie das obere Dampf-Ventil und das obere Ausleerungs-Ventil, in dem untern Theile das untere Dampf-Ventil und das untere Ausleerungs-Ventil. In Fig. 17 ist A′ das obere Dampf-Ventil, B′ das obere Ausleerungs-Ventil, welches, wenn es geöffnet ist, den Dampf von dem Kolben in den Condensator führt; C′ ist das untere Dampf-Ventil, das den Dampf unter den Kolben einläßt, und D′ das untere Ausleerungs-Ventil, das den Dampf unter dem Kolben in den Condensator ableitet.

Nehme man nun an, der Kolben sei in dem obern Theile des Cylinders und der Cylinder unter ihm mit Dampf gefüllt, der ihn eben aufwärts getrieben hat. Das obere Dampf-Ventil A′ und das untere Ausleerungs-Ventil D′ seien offen, die beiden anderen Ventile geschlossen. Der Dampf, der den Cylinder unter dem Kolben füllt, wird alsbald durch das Ventil D′ in den Condensator strömen und ein luftleerer Raum unter dem Kolben erzeugt werden. Zu gleicher Zeit strömt aus der Dampf-

röhre durch das Ventil A′ über den Kolben Dampf ein, und der Druck desselben treibt den Kolben abwärts. Ist der Kolben auf dem Boden des Cylinders, so werden das obere Dampf-Ventil A′ und das untere Ausleerungs-Ventil D′ geschlossen, das untere Dampf-Ventil C′ und das obere Ausleerungs-Ventil B′ geöffnet. Der Dampf in dem Cylinder über dem Kolben geht durch B′ in den Condensator über und läßt einen luftleeren Raum über dem Kolben. In derselben Zeit strömt Dampf aus dem Kessel durch das untere Dampf-Ventil C′ unter den Kolben ein, der dadurch in den obern Theil des Cylinders gehoben wird, und so geht das Kolbenspiel weiter.

Man sieht daraus, daß das obere Dampf-Ventil und das untere Ausleerungs-Ventil zusammen geöffnet werden müssen, wenn der Kolben in dem obern Theile des Cylinders ankommt. Um dieß zu bewirken, ist ein Hebel E′ durch Stäbe mit jenen beiden Ventilen in Verbindung gesetzt, und dieser Hebel wird durch einen Zapfen oder Daumen an der Kolbenstange der Luftpumpe bewegt. Dem Zapfen kann eine solche Stellung gegeben werden, daß er die verlangte Wirkung genau in dem rechten Augenblicke hervorbringt. Auf gleiche Weise ist ein anderer Hebel F′ durch Stäbe mit dem obern Ausleerungs-Ventil und dem unteren Dampf-Ventil verbunden, so daß er sie gleichzeitig öffnet und verschließt, und auch dieser Hebel wird durch einen Zapfen an der Kolbenstange der Luftpumpe bewegt.

61.

Diese Methode, die Ventile zu verbinden und zu steuern, wurde durch eine andere ersetzt, auf welche Murray aus Leeds ein Patent erlangte, das aber durch Bolton und Watt beseitigt wurde, indem sie zeigten, daß sie die angegebene Art bereits früher ausgeführt hatten. Sie ist in Fig. 20 und 21 dargestellt. Die Stiele der Ventile sind perpendicular und bewegen sich in einem dampfdichten Lager im obern Theile der Ventil-Büchsen. Der Stiel des oberen Dampf-Ventils A ist eine Röhre, durch welche der Stiel des oberen Ausleerungs-Ventils B geht und in welchem er sich dampfdicht be-

wegt. Diese beiden Stiele bewegen sich dampfdicht durch den oberen Theil der Ventil-Büchse. Das untere Dampf-Ventil C und das Ausleerungs-Ventil D sind auf ähnliche Art eingerichtet. Der Stiel des ersten ist eine Röhre, durch welche der Stiel des anderen geht. Die Stiele des oberen Dampf-Ventils und des unteren Ausleerungs-Ventils sind durch die Stange E verbunden, wie das obere Ausleerungs-Ventil und das untere Dampf-Ventil durch eine andere Stange F. Diese Stangen können daher die Ventile paarweise bewegen, wenn sie gehoben und niedergedrückt werden. Die Bewegung, durch welche die Ventile gesteuert werden, geht nicht von der Stange der Luftpumpe aus, sondern von der Achse des Schwungrades. Diese Achse bewegt die sogenannte excentrische Scheibe. Wir wollen das Prinzip, das diese Bewegung leitet, näher erklären. DE (Fig. 22 und 23) ist ein metallener Ring, dessen innere Oberfläche ganz glatt ist. Dieser Ring ist mit einer Stange F B verbunden, welche die Ventile durch Hebel bewegt, die bei B an sie befestigt sind. Eine kreisförmige Metallplatte ist so mit dem Ringe verbunden, daß sie sich in ihm bewegen kann, und die inneren Oberflächen des Ringes und der Platte, die in Berührung stehen, werden mit Oel oder Fett geschmeidig erhalten. Jene runde Metallplatte dreht sich jedoch nicht um ihr Centrum, sondern um die Achse C, die etwas entfernt von dem Centrum A ist. Die Folge davon ist, daß der Ring, in welchem sie sich dreht, abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen sich bewegt und durch einen Raum, der zweimal so groß ist als die Entfernung (CA) der Achse der Platte von dem gemeinschaftlichen Centrum derselben und des Ringes. Die excentrische Scheibe in ihren beiden äußersten Stellungen zeigen Fig. 22 und 23. Die Platte und der Ring DE sind auf die Achse des Schwungrades gestellt, oder auf die Achse eines anderen, durch das Schwungrad in Bewegung gesetzten Rades. Die fortdauernd wälzende Bewegung des Schwungrades erzeugt eine geradlinige Bewegung in der Stange FB. Diese Stange ist durch Hebel mit den Stangen E und F (Fig. 20 und 21) verbunbunden, wodurch die Ventile so gesteuert werden, daß, wenn

die excentrische Scheibe in der Stellung in Fig. 22 ist, ein Ventil=Paar geöffnet und das andere geschlossen wird, und sobald sie in die Stellung Fig. 23 kommt, das zweite Paar geöffnet und das erste geschlossen ist. Durch eine Vorrichtung dieser Art werden jetzt die Ventile fast überall gesteuert.

Nehmen wir an, der Kolben sei in dem oberen Theile des Cylinders (Fig. 20), die Stange E gehoben, die Ventile A und D seien geöffnet, B und C geschlossen. Der Dampf kommt aus der Dampfröhre durch eine Oeffnung unmittelbar über dem Ventil A, geht durch das offne Ventil und tritt über dem Kolben in den Cylinder. Zu gleicher Zeit strömt der Dampf, der unter dem Kolben ist und ihn eben hinaufgetrieben hat, durch das offne Ventil D und durch eine unmittelbar unter demselben befindliche Röhre in den Condensator. Es wird nun ein luftleerer Raum unter dem Kolben erzeugt; der Dampf drückt oben auf ihn und er geht hinab. Kommt er auf den Boden des Cylinders (Fig. 21), so wird die Stange E niedergezogen, und die Ventile A und D fallen wieder in ihre Lagen. Die Stange F wird gehoben, und die Ventile B und C öffnen sich. Nun strömt Dampf durch eine Oeffnung über dem Ventil C ein und kommt unter den Kolben, während der Dampf über demselben durch das offne Ventil B in eine unter ihm befindliche Röhre geht, die in den Condensator führt. So wird ein luftleerer Raum über dem Kolben erzeugt, und da Dampfdruck unter ihm wirkt, so steigt er empor. Das abwechselnde Auf= und Niedersteigen wird fortgesetzt durch die Bewegung, welche den Stangen E F von dem Schwungrade mitgetheilt wird.

62.

Es gibt verschiedene andere Vorrichtungen, den Umlauf des Dampfes durch den Cylinder zu regeln. Wir sehen Fig. 24 und 25 einen Durchschnitt des von Murray angegebenen Schieb=Ventils. Die aus dem Kessel hervorgehende Dampfröhre tritt bei S in die Ventil=Büchse DE. Gekrümmte Gänge AA und BB verbinden diese Ventil=Büchse mit dem oberen Theile und dem Boden des Cylinders, und ein vierter

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Gang führt zu der Röhre C, die in den Condensator geht. Ein verschiebbares Metallstück in der Ventil=Büchse öffnet abwechselnd eine Verbindung zwischen den beiden Enden des Cylinders und der Röhre C, die in den Condensator führt. Bei der Stellung des Apparats in Fig. 24 strömt Dampf aus den Dampfröhren durch den gekrümmten Gang AA über den Kolben, und zu derselben Zeit wird der Dampf unter dem Kolben durch den gekrümmten Gang BB in die Röhre C und aus dieser in den Condensator abgeleitet. Es entsteht ein luftleerer Raum unter dem Kolben und Dampf strömt über ihm ein. Der Kolben steigt hinab, und wenn er den Boden des Cylinders erreicht, kommt der Schieber in die Fig. 25 angegebene Stellung. Nun strömt Dampf aus S durch BB unter den Kolben und der Dampf über demselben geht durch AA und C in den Condensator. Ueber dem Kolben wird ein luftleerer Raum erzeugt, Dampfdruck wirkt unter ihm und er steigt empor. So geht die Bewegung fort. Der Schieber wird durch einen Hebel bewegt, auf welchen die excentrische Scheibe wirkt.

63.

Watt gab eine Methode zur Leitung des Dampf=Umlaufes an, welche man das D=Ventil nennt, weil der horizontale Durchschnitt des Ventils dem Buchstaben D gleicht. Diese jetzt sehr gebräuchliche Vorrichtung zeigen in einem Durchschnitt Fig. 26 und 27. Durch S kommt Dampf aus dem Kessel. Ein Metallstab verbindet zwei feste Pflöcke AB, die sich Dampfdicht in dem Gange D bewegen. In der Stellung der Vorrichtung Fig. 26 strömt der Dampf aus S durch den Gang D und tritt in den Cylinder über dem Kolben, während der Dampf unter dem Kolben durch den offenen Gang mittels der Röhre C in den Condensator geführt wird. Es entsteht ein luftleerer Raum unter dem Kolben, welcher nun, da Dampf über ihm einströmt, niedersteigen muß. Ist er auf dem Boden des Cylinders angekommen, so werden die Pflöcke AB in die Fig. 27 angegebene Stellung gerückt. Es strömt nun Dampf aus S durch D ein und tritt in den Cylin=

der unter den Kolben, während der Dampf, der über dem Kolben ist und ihn eben niedergedrückt hat, durch den offenen Gang in den Condensator geht. Ueber dem Kolben wird ein leerer Raum erzeugt und der Dampfdruck unter ihm treibt ihn aufwärts. Ist er im oberen Theile des Cylinders, so wird die Stellung der Pflöcke AB wieder verändert, wie Fig. 26 zeigt, und es erfolgt eine der beschriebenen ähnliche Wirkung, indem der Kolben niedergedrückt wird.

Die Pflöcke AB und die Stange, welche dieselben verbindet, werden durch Hebel auf- und niederbewegt, welche ihre Bewegung durch die excentrische Scheibe erhalten.

Diese Vorrichtung wird oft dadurch verändert, daß man den über dem Kolben befindlichen Dampf durch eine Röhre in den Pflöcken AB und ihrer Verbindungsstange dem Condensator zuführt. In Fig. 28 und 29 geht eine Röhre durch die Pflöcke und die Verbindungsstange. In der Stellung Fig. 28 geht der bei S einströmende Dampf durch die Röhre in den Cylinder über dem Kolben, während der Dampf unter demselben durch C in den Condensator geführt wird. Es entsteht nun ein luftleerer Raum unter dem Kolben und dieser steigt, vom Dampfe gedrückt, herab. Ist er auf dem Boden des Cylinders, so erhalten die Pflöcke und die Röhre die in Fig. 29 angegebene Stellung. Der Dampf tritt nun in S ein, geht in den Cylinder unter dem Kolben, während der Dampf über demselben durch C in den Condensator strömt. Ueber dem Kolben entsteht ein luftleerer Raum, und der unter ihm eingeströmte Dampf drückt ihn aufwärts. Ist er im oberen Theile des Cylinders, so kommen die Pflöcke in die Fig. 28 angegebene Stellung, und indem ähnliche Wirkunken eintreten, geht der Kolben wieder hinab.

Die Bewegung der Schieb-Röhre kann, wie bei den früheren Vorrichtungen, durch die excentrische Scheibe hervorgebracht werden. Zuweilen geschieht es auch durch eine an der Kolbenstange der Luftpumpe befestigte Leiste. Bei dem Niedersteigen des Kolbens greift die Leiste in eine Hervorragung der Ventilstange und treibt sie nieder; bei dem Aufstei-

gen des Kolbens hebt sie dieselbe, indem sie eine ähnliche Hervorragung trifft.

64.

Als eine durch Zierlichkeit und Einfachheit sich auszeichnende Vorrichtung verdient der doppelt durchbohrte oder sogenannte Vierweg-Hahn Erwähnung. Einen Durchschnitt dieses Hahns sehen wir in Fig. 30 und 31. CTSB sind vier Gänge oder Röhren; S kommt aus dem Kessel und führt Dampf zu, C ihm gegenüber führt in den Condensator, T ist eine mit dem obern Theile des Cylinders in Verbindung stehende Röhre, und B bildet eine Verbindung mit dem Boden des Cylinders. Diese vier Röhren stehen in Verbindung mit einem Hahn, welcher zwei gekrümmte Gänge hat, wie Fig. 30 und 31 zeigen. Diese Gänge sind so eingerichtet, daß sie nach der dem Hahn gegebenen Stellung eine Verbindung mit zwei angränzenden Röhren unter den vier genannten eröffnen können. Hat der Hahn die in Fig. 30 angegebene Stellung, so besteht eine Verbindung zwischen der Dampfröhre und dem oberen Theile des Cylinders durch einen der gekrümmten Gänge, und zwischen dem Condensator und dem unteren Theile des Cylinders durch den anderen gekrümmten Gang. In diesem Falle strömt der unter den Kolben befindliche Dampf in den Condensator, läßt einen luftleeren Raum unter ihm und es wird aus dem Kessel Dampf über den Kolben eingelassen. Der Kolben steigt nieder, und wenn er den Boden des Cylinders erreicht hat, kommt der Hahn in die Fig. 31 angegebene Stellung. Diese Veränderung wird bewirkt durch eine Viertelsdrehung des Hahns, und zwar entweder mittels eines von der excentrischen Scheibe bewegten Hebels oder durch eine andere Vorrichtung. Einer der gekrümmten Gänge in dem Hahn öffnet nun eine Verbindung zwischen der Dampfröhre und dem Boden des Cylinders, während ein anderer eine Verbindung zwischen dem Condensator und dem oberen Theile des Cylinders eröffnet. Auf diese Weise wird der Dampf aus dem Kessel unter den Kolben geführt, und der Dampf über dem Kolben geht in den Conden-

sator über. Es entsteht ein luftleerer Raum über dem Kolben, und indem Dampf unter ihm wirkt, steigt er empor. Ist der Kolben in dem oberen Theile des Cylinders, so wird der Hahn rückwärts gedreht, und er erhält wieder die in Figur 30 bezeichnete Stellung. Dieselben Wirkungen treten ein, der Kolben steigt nieder und so geht es weiter. In Fig. 32 und 33 ist der Vierweg-Hahn mit den zu dem oberen Theile und dem Boden des Cylinders führenden Gängen in größerem Maßstabe dargestellt.

Diese schöne Erfindung ist nicht neueren Ursprungs. Schon Papin kannte sie, und der deutsche Mechaniker Leupold gab eine Beschreibung der Vorrichtung in einem 1720 erschienenen Werke*), in welchem er von einer Maschine spricht, die durch Dampf von hohem Druck in Bewegung gesetzt wird, nach einem Princip, das wir später darstellen werden.

Der Vierweg-Hahn hat einige praktische Nachtheile. Die Dampfmenge, welche die Röhren zwischen dem Hahn und dem Cylinder füllt, wird bei dem Kolbenspiele verschwendet. Dieser Vorwurf trifft zwar auch das Schieb-Ventil (Fig. 24 und 25), so wie die in Fig. 26 und 27, 28 und 29 dargestellte Schieb-Röhre oder das D-Ventil. Er trifft überhaupt alle Vorrichtungen, in welchen nicht Mittel, den Dampf abzusperren, sowohl im oberen Theile als in dem Boden des Cylinders, angebracht sind. Ueberdieß können die verschiedenen Gänge und Röhren nicht weit genug gemacht werden, um Dampf in hinlänglicher Menge einströmen zu lassen, und es wird daher nöthig, in dem Kessel einen Dampf von ungewöhnlicher Stärke zu erzeugen, um der Verdünnung, die er auf dem Wege durch so viele enge Röhren erleidet, entgegenwirken zu können. Einer der bedeutendsten Einwürfe aber gegen den Gebrauch des Vierweg-Hahns, besonders in großen Maschinen, ist die ungleiche Abnutzung, welcher er ausgesetzt ist. Da die Theile in der Nähe der Gänge schwächere Oberflächen haben, so leiden sie mehr durch die Reibung

*) Theatrum Machinarum.

und in kurzer Zeit dringt der Dampf zwischen dem Hahn und seiner Hülse durch, wird verschwendet und verderbt den luftleeren Raum. Man gebraucht diese Hähne selten in condensirenden Maschinen, ausgenommen in kleinen, häufig aber in Hochdruck-Maschinen, da in diesen das Durchdringen des Dampfes weniger zu bedeuten hat, wie wir später sehen werden.

Siebenter Abschnitt.

Der Kessel mit seinen Zubehörungen und der Feuerherd.

65.

Die regelmäßige Wirkung der Dampfmaschine und die Ersparung des Feuerungsbedarfs ist vorzüglich durch die Einrichtung des Kessels bedingt. Er ist ein großes Dampfmagazin für den Gebrauch der Maschine und es muß dafür gesorgt werden, daß nicht nur immer hinlänglicher Dampf vorräthig, sondern daß er auch von gehöriger Beschaffenheit sei, das heißt, er darf weder von höherer Spannung als erfoderlich ist, noch von zu geringer sein. Man muß daher Vorkehrungen treffen, daß die Dampferzeugung mit der davon verlangten Leistung in genauem Verhältnisse stehn und daß der erzeugte Dampf dem Cylinder in gleichem Verhältnisse zuströme. Zur Erreichung dieses Zweckes sind ungemein sinnreiche Erfindungen aufgekommen, die wir nun beschreiben wollen.

66.

Von Zeit zu Zeit hat man verschiedene Vorrichtungen angegeben, den Stand des Wassers im Kessel anzuzeigen. Wir haben schon früher (siehe 31) die in den ältern Dampfmaschinen gebrauchten beiden Proberöhren beschrieben, die noch immer gewöhnlich sind. Es gibt jedoch noch andere Vorkehrungen der Art, die unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen müssen. Ein halb in das Wasser des Kessels getauchtes Gewicht F (Fig. 34) wird von einem Draht gehalten, welcher

dampfdicht durch eine kleine Oeffnung in dem oberen Theile desselben geht, und mit einer Schnur oder Kette verbunden ist, die über ein Rad W läuft, mit einem Gegengewicht A versehen, das gerade hinlänglich ist, dem halb eingetauchten Gewichte das Gleichgewicht zu halten. Ist F über dem Wasser, so wird A leichter und nicht länger ein Gleichgewicht bilden; F senkt sich, zieht A aufwärts und dreht das Rad W. Wenn dagegen F sich tiefer in das Wasser taucht, so erhält A ein Uebergewicht und zieht F hinauf. Nur wenn F halb eingetaucht ist, wird es mit A im Gleichgewichte sein. Das Rad W ist so eingerichtet, daß, wenn zwei in dem Rande desselben befindliche Zapfen PP′ in horizontaler Stellung sind, wie in Fig. 34, das Wasser seinen gehörigen Stand hat. Wenn daher das Wasser über diese Höhe steigt, so wird F gehoben, A aber sinkt, nnd die Zapfen PP′ kommen in die Stellung, die Fig. 35 zeigt. Fällt hingegen der Wasserstand, so sinkt F und A steigt, so daß die Stellung in Fig. 36 eintritt. Auf diese Weise zeigt die Stellung der Zapfen im Allgemeinen die Wassermenge im Kessel an.

Eine andere Vorrichtung ist eine Glasröhre, (Fig. 37), die mit einem Ende T in den Kessel über dem gehörigen Wasserstande, mit dem andern T′ unter demselben eingeht. Es ist klar, daß das Wasser in der Röhre immer dieselbe Höhe haben wird als das Kesselwasser, da der untere Theil eine offene Verbindung mit jenem Wasser hat, während die Oberfläche dem Drucke desselben Dampfes ausgesetzt ist, wie das Wasser im Kessel. Diese Vorrichtung und die zuletzt erwähnte Proberöhre haben den Vorzug, daß sie ohne nöthige Vorkehrungen sogleich zu dem Auge des Maschinenwärters sprechen, wogegen die Probehähne — der Wasserhahn und der Dampfhahn — beide geöffnet werden müssen, wenn der Wasserstand untersucht werden soll.

Diese Untersuchungen aber fodern eine beständige Aufmerksamkeit des Aufsehers, und es mußte daher wünschenswerth erscheinen, wirksamere Mittel zu erfinden, diese Aufmerksamkeit zu wecken oder den Dampfzufluß von jeder Aufmerksamkeit unabhängig zu machen. In der Absicht, die Auf-

merksamkeit des Maschinenaufsehers auf die Anfüllung des Kessels zu leiten, wenn der Wasserstand durch Verdampfung zu niedrig geworden ist, wurde zuweilen eine Röhre an dem tiefsten Punkte des Kessels eingelassen, den der Wasserstand erreichen durfte. Diese Röhre ward aus dem Kessel in das Gemach des Aufsehers geführt, wo sie in einem Mundstücke oder einer Pfeife endigte, so daß, wenn das Wasser unter den Punkt sank, wo diese Röhre eingelassen war, der Dampf hineinströmte und, mit großer Gewalt aus dem Mundstücke dringend, den Aufseher mit lautem Tone zu seiner Pflicht rufen mußte.

67.

Selbst bei der wirksamsten unter diesen Vorkehrungen mußte der Aufseher den Kessel selbst wieder anfüllen, und der Kessel gab höchstens einen Wink über das Bedürfniß eines neuen Zuflusses. Dieß hatte unter andern Nachtheilen die Folge, daß der Wasserstand steten Abwechselungen unterworfen war. Diesem Uebel abzuhelfen, ist eine Vorrichtung erfunden worden, durch welche die Maschine den Kessel selbst speiset. Die Röhre G′, die aus der Warmwasser-Pumpe (siehe 52) führt, endigt in dem kleinen Behälter C (Figur 38), welcher das Wasser aufnimmt. Im Boden dieses Behältnisses befindet sich ein Ventil V, das sich aufwärts öffnet und mit einer Speiseröhre verbunden ist, die in den Kessel unter den Wasserstand hinabgeht. Der Stiel des Ventils V hängt mit einem Hebel zusammen, der sich auf dem Centrum D bewegt und ein Gewicht F trägt, welches in das Wasser des Kessels auf ähnliche Weise wie in Fig. 34 getaucht ist, mit einem Gegengewichte A. Fällt der Wasserstand im Kessel, so fällt gleichzeitig der Schwimmer F in demselben, und indem er den Arm E des Hebels niederzieht, hebt sich das Ventil V und es strömt aus dem Behälter C Wasser in den Kessel. Ist auf diese Weise der Kessel wieder gespeist und der Hebel auf seine vorige Stelle gehoben, so steigt F wieder und das Ventil V wird durch das Gewicht A geschlossen. In der Praxis wird das Ventil V durch die Wirkung des Wassers auf das Gewicht F

gesteuert, so daß das Wasser aus dem Behälter C in den Kessel in einem beständigen Strome fließen kann, der hinreichend ist, das verdünstete Wasser zu ersetzen und den Wasserstand im Kessel stets auf gleicher Höhe zu erhalten.

Durch diese sehr zweckmäßige Vorrichtung füllt sich der Kessel selbst, oder erhält vielmehr so viel Zufluß, daß er nie einer Wiederanfüllung bedarf, eine Wirkung, die auch die angestrengteste Aufmerksamkeit eines Aufsehers nicht erlangen könnte. Dieß ist jedoch nicht die einzige gute Wirkung dieser Vorrichtung. Ein Theil des Dampfes, der ursprünglich aus dem Kessel entwichen ist und seine Bestimmung durch die Bewegung des Kolbens erfüllt hat, ist durch Condensation wieder in Wasser verwandelt worden und mittels der Luftpumpe in den Warmwasser-Brunnen (sieh 47) gekommen, wo er zu der Quelle zurückkehrt, aus welcher er entstanden ist, und wohin er den nicht verbrauchten Theil seiner Wärme bringt, ehe er noch einmal durch die Maschine in Umlauf gesetzt wird.

Die ganze Menge des in den Behälter C gepumpten warmen Wassers ist nicht immer zur Speisung des Kessels nöthig. Es kann eine Ableitungsröhre angebracht werden, um das überflüssige Wasser wegzuschaffen, das zu irgend einem Zwecke benutzt werden kann, oder es kann in einen Behälter abgelassen werden, um abzukühlen, ehe es in den kalten Behälter (Fig. 14) zurückkehrt, wofern es an Wasser für den hinlänglichen Zufluß zu demselben mangelte.

An Orten, wo Wasserverschwendung verhütet werden muß, können die Ableitungsröhren, die aus dem Behälter C (Fig. 38) und aus dem kalten Behälter kommen, welcher den Condensator und die Luftpumpe enthält, zu einem Behälter AB (Fig. 39) geführt werden. Es sei hier C die aus dem Speisewasser kommende Röhre und D eine Röhre aus dem kalten Behälter. Diese Röhren führen das überflüssige Wasser aus beiden Behältern in AB. In dem Boden von AB befindet sich ein Ventil V, das sich aufwärts öffnet und mit dem S c h w i m m e r F verbunden ist. Ist in dem Behälter AB so viel Wasser, daß der Stand desselben beträchtlich steigt, so erhebt sich der Schwimmer F, öffnet das Ventil V und das

Wasser fließt in die Hauptröhre, welche den Wasserbedarf für die Maschine liefert. G ist die Kaltwasser-Pumpe zur Speisung des kalten Behälters.

Diese Vorrichtung zur Ersparung des aus dem Speisebehälter und dem Condensations-Behälter abgeleiteten Wassers ist in der Druckerei der irländischen Bank eingeführt, und dadurch eine bedeutende Wasserverschwendung verhütet worden.

68.

Es ist nothwendig, zu allen Zeiten ein schnelles Mittel zu haben, die Stärke des für die Maschine nöthigen Dampfes auszumitteln. Zu diesem Zwecke wird eine mit Quecksilber gefüllte gekrümmte Röhre in einen Theil des Apparates eingelassen, der mit dem Dampfe in Verbindung steht. Sie wird gewöhnlich in der sogenannten Jacke des Cylinders (siehe 44) angebracht. Es sei ABC (Fig. 40) eine solche Röhre. Der Dampfdruck treibt das Quecksilber in dem Schenkel AB hinab und in dem Schenkel BC hinauf. Steht das Quecksilber in beiden Schenkeln in gleicher Höhe, so muß der Dampfdruck dem Drucke der Atmosphäre ganz gleich sein, weil der Dampfdruck auf das Quecksilber in AB mit dem atmospärischen Drucke auf die Quecksilbersäule in BC im Gleichgewicht ist. Wenn dagegen das Quecksilber in BC höher als in BA steht, so wird Dampfdruck den atmosphärischen überwiegen. Dieses Uebergewicht läßt sich ausmitteln, wenn man die Differenz der Höhen des Quecksilbers in den Röhren BC und BA beobachtet und einen Druck von einem Pfunde auf jeden Quadratzoll für jede zwei Zoll in der Differenz der Höhen rechnet.

Sollte dagegen das Quecksilber in BC tiefer als AB stehen, so wird der atmosphärische Druck stärker sein als der Dampfdruck, und der Grad des Uebergewichts wird auf gleiche Weise ausgemittelt.

Ist die Röhre von Glas, so wird die Differenz der Höhen sichtbar sein; gewöhnlich aber wird sie von Eisen gemacht, und um den Quecksilber-Stand zu bestimmen, wird dann ein hölzernes Stäbchen in das offene Ende der Röhre BC frei ein-

gelassen, so daß der innerhalb der Röhre befindliche Theil des Stäbchens die Entfernung der Quecksilberhöhe von der Oeffnung der Röhre anzeigt. Auch kann man statt des Schenkels AB eine Kugel gebrauchen, wie im gewöhnlichen Barometer. Dieses Instrument heißt das Quecksilber-Visier.

Gebraucht man es, die Stärke des Dampfes zu messen, der auf den Kolben drückt, so muß es auf derselben Seite des Regulators (siehe 59) angebracht werden, wo sich der Cylinder befindet; denn wäre es auf derselben Seite mit dem Kessel, so würde es für die Veränderungen, welche der Dampf im Durchgange durch das Regulator-Ventil (Fig. 17), wenn dieses zum Theil geschlossen wäre, erleiden könnte.

69.

Die Kraft, mit welcher der Kolben niedergedrückt wird, beruht auf zwei Umständen, 1. auf der wirklichen Stärke des Dampfes, die ihn drückt, und 2. auf der Stärke des Dampfes, welcher ihm Widerstand leistet. Obgleich der luftleere Raum, der durch die Wirkung der abgesonderten Condensation erzeugt wird, weit vollkommner ist, als der in den atmosphärischen Maschinen hervorgebrachte, so wird doch immer etwas Dampf von geringer Elasticität aus dem heißen Wasser auf dem Boden des Condensators aufsteigen, ehe er durch die Luftpumpe ausgezogen werden kann. Das beschriebene Quecksilber-Visier zeigt an, wie stark eine jener beiden Arten des Druckes sei; aber ehe wir die Kraft, mit welcher der Kolben niedersteigt, schätzen können, ist es nothwendig, die Kraft der nicht condensirten Dünste zu bestimmen, die der Bewegung des Kolbens Widerstand leisten. Ein anderes Visier, die Barometer-Probe genannt, wird zu diesem Zwecke gebraucht. Eine Glasröhre AB (Fig. 41), die über 30 Zoll lang und an beiden Enden offen ist, wird senkrecht mit dem unteren Ende B in ein Quecksilber-Behältniß C gestellt. An dem oberen Ende ist eine Metallröhre befestigt, die mit dem Condensator in Verbindung steht, in welchem ein steter luftleerer Raum oder vielmehr ein hoher Grad von ver-

dünnter Luft sich befindet. Derselbe luftleere Raum muß daher auch in der Glasröhre AB über dem Quecksilber-Stande sein, und der atmosphärische Druck auf die Oberfläche des Quecksilbers in dem Behältnisse C wird das Quecksilber in der Röhre AB hinauftreiben, bis die darin stehende Säule der Differenz zwischen dem atmosphärischen Drucke und dem Drucke des nicht condensirten Dampfes gleich ist. Der Unterschied zwischen der in der Barometer-Probe stehenden Quecksilber-Säule und dem gewöhnlichen Barometer bestimmt die Stärke des nicht condensirten Dampfes, wenn man eine Kraft, gleich einem Pfunde auf den Quadratzoll für jede zwei Zoll Quecksilber in der Differenz der beiden Säulen rechnet. In einer gut gebauten Dampfmaschine, die in gehöriger Ordnung gehalten wird, ist nur ein geringer Unterschied zwischen der Barometer-Probe und dem gewöhnlichen Barometer.

Die Stärke zu bestimmen, mit welcher der Kolben niedersteigt, ist daher eine sehr einfache Berechnung. Es wird zuerst die Differerenz der Höhen des Quecksilbers im Quecksilber-Visier ausgemittelt. Dieß gibt das Uebergewicht des Dampfdrucks über den atmosphärischen Druck. Dann suche man die Höhe des Quecksilbers in der Barometer-Probe. Dieß gibt das Uebergewicht des atmosphärischen Druckes über den nicht condensirten Dampf. Werden dann diese beiden Höhen addirt, so erhält man das Uebergewicht der treibenden Kraft des Dampfes, der auf der einen Seite des Kolbens aus dem Kessel kommt, über den Widerstand des nicht condensirten Dampfes auf der andern. Dieß wird uns die wirkliche Treibkraft geben. Rechnet man nun ein Pfund für jede zwei Zoll Quecksilber in den beiden eben erwähnten Säulen, so erhält man die Zahl der Pfunde des treibenden Druckes auf jeden Quadratzoll des Kolbens. Hat man die Zahl der Quadratzolle im Querschnitt des Kolbens gefunden und mit der Zahl der Pfunde auf jeden Quadratzoll multiplicirt, so erhält man die ganze wirkliche Kraft, mit welcher der Kolben sich bewegt.

In der Berechnung der Kraft der Maschine kann man jedoch die so berechnete ganze Kraft nicht für die wirklich ar-

beitende Kraft ansehen. Es ist mehr Kraft und zwar keineswegs ein geringer Krafttheil nöthig, die Maschine zu bewegen, selbst wenn sie ohne Ladung ist. All dieß aber, was auf Ueberwindung der Reibung und anderer Hindernisse gerechnet wird, muß man aus der Rechnung lassen und nur die Bilance als wirklich arbeitende Kraft annehmen.

Aus allem, was wir gesagt haben, geht hervor, daß es zur Bestimmung der wirklichen Kraft, mit welcher der Kolben getrieben wird, nothwendig ist, sowohl auf die Barometer-Probe, als auf das Quecksilber-Visier Rücksicht zu nehmen. Diese doppelte Berechnung ließe sich umgehen, wenn ein einziges Visier zu beiden Zwecken diente. Würde das Ende des Quecksilber-Visiers C (Fig. 40), statt mit der Atmosphäre in Berührung zu sein, bis zu dem Condensator fortgesetzt, so würden wir den Dampfdruck haben, der auf das Quecksilber in der Röhre BA wirkt, und zugleich den Druck des nicht condensirten Dampfes, welcher dem auf das Quecksilber in der Röhre BC wirkenden Kolben Widerstand leistet. Daher zeigt die Differenz der Höhen der Quecksilber-Säule in den Röhren sogleich die Differenz zwischen der Dampfkraft und der Kraft der nicht condensirten Dämpfe, welches die wirkliche Kraft ist, die den Kolben treibt.

70.

Um den Kessel gegen Beschädigungen zu sichern, die durch zu stark gespannten Dampf entstehen könnten, wird ein Sicherheits-Ventil gebraucht, das den bei Papin's Dampfmaschine beschriebenen ähnlich ist. Es ist mit einem Gewichte beladen, der Stärke gleich, die der Dampf über den atmosphärischen Druck haben soll, da man es selbst in condensirenden Maschinen für gut hält, einen Dampf zu gebrauchen, dessen Druck den atmosphärischen etwas übertrifft.

Außer diesem Ventil wird ein anderes von sehr entgegengesetzter Art zuweilen gebraucht. Wenn man die Maschine in Stillstand bringt und das Feuer auslöscht, so zeigt sich, daß der condensirte Dampf in dem Kessel einen luftleeren Raum

erzeugt, so daß die Atmosphäre, die auf die äußere Oberfläche des Kessels drückt, ihn zu zerstören droht. Um dieß zu verhüten, wird ein sich einwärts öffnendes Ventil angebracht, und wenn es nun durch den atmosphärischen Druck geöffnet wird, während inwendig ein luftleerer Raum ist, strömt die Luft ein und es wird ein Gleichgewicht zwischen dem inneren und äußeren Drucke hergestellt.

71.

Wir haben bereits gezeigt, wie der Regulator den Zufluß des Dampfes aus dem Kessel in den Cylinder regelt, indem er die Dampfmenge nach dem Verhältnisse der erlangten Leistung abmißt und dadurch eine gleichförmige Bewegung unterhält. Da nun bei dem Dampfverbrauche Veränderungen eintreten, die von dem Maß der zu leistenden Wirkungen abhangen, so liegt es am Tage, daß auch die Erzeugung des Dampfes einer verhältnißmäßigen Veränderung unterworfen sein sollte. Es würde sonst entweder der Kessel die Maschine nicht hinlänglich mit Dampf versorgen, oder der Dampf sich in dem Kessel anhäufen, weil er in zu großem Ueberfluße erzeugt wäre, und ungenutzt aus dem Sicherheitsventil entweichen. Soll nun die Erzeugung des Dampfes nach Verhältniß des Bedarfs der Maschine verändert werden, so ist es nöthig, die Wirkung des Feuerherdes zn erhöhen oder zu mäßigen, je nach dem die Dampferzeugung vermehrt oder vermindert werden soll. Durch die Aufmerksamkeit des Maschinenwärters dieß zu bewirken, würde unmöglich sein, aber man hat eine höchst sinnreiche Erfindung gemacht, den Kessel in dieser Hinsicht sich selbst regeln zu lassen. Es sei T (Fig. 42) eine in den oberen Theil des Kessels eingelassene Röhre, die bis beinahe auf den Boden gehe. Der Druck des Dampfes auf die Oberfläche des Wassers im Kessels treibt Wasser in die Röhre T hinauf, bis die Differenz der Höhen der Differenz zwischen dem Drucke des Dampfes im Kessel nnd dem atmosphärischen Drucke gleich ist. Ein Gewicht F, zur Hälfte in das Wasser der Röhre eingelassen, hängt an einer Kette, welche über die Räder PP′ geht und durch eine Metallplatte

D im Gleichgewichte gehalten wird, gerade wie der Schwimmer in Fig. 34 durch das Gewicht A. Die Platte D geht durch die Mündung des Luft-Kanals E bei dem Austritt desselben aus dem Kessel, so daß diese Platte, wenn sie fällt, den Kanal schließt, den Luftzug zu dem Feuerherd absperrt und dadurch das Feuer mäßigt und die Dampferzeugung vermindert. Wird dagegen die Platte aufgezogen, so wird der Luftzug verstärkt, das Feuer wirksamer gemacht und die Dampferzeugung im Kessel vermehrt. Nehmen wir nun an, der Kessel erzeuge den Dampf schneller, als die Maschine ihn verbraucht, entweder weil ihre Ladung vermindert und dadurch verhältnißmäßig auch der Dampfverbrauch vermindert worden ist, oder weil die Stärke des Feuers zu sehr zugenommen hat. Die Folge wird sein, daß der Dampf, der sich anzuhäufen beginnt, auf die Oberfläche des Wassers im Kessel mit verstärkter Kraft drückt und das Wasser in der Röhre T steigt. Das Gewicht F wird daher gehoben werden, die Platte D hinabgehen, den Kanal schließen, das Feuer mäßigen und die Dampferzeugung hemmen. So geht es weiter, bis die Dampferzeugung dem Bedarf der Maschine völlig gleich ist.

Ist hingegen die Dampferzeugung dem Bedarf der Maschine nicht gleich, entweder weil die Ladung stärker oder das Feuer unwirksamer geworden ist, so verliert der Dampf im Kessel seine Elasticität, und die Oberfläche des Wassers steigt, da sie nicht mehr im Stande ist, einen Druck zu ertragen, der sie auf ihrer gewöhnlichen Höhe halten kann. Die Oberfläche in der Röhre T sinkt, das Gewicht F fällt und die Platte D steigt. Der Luftzug wird durch die Oeffnung des Kanals vermehrt, das Feuer wird stärker und die Dampferzeugung verstärkt, bis sie für die Zwecke der Maschine hinlänglich schnell ist. Diese Vorrichtung heißt der selbst wirkende Dämpfer.

72.

Man hat vorgeschlagen, diesen Dämpfer mit dem von dem Ritter von Edelcrantz erfundenen Sicherheits-Ventil

zu verbinden. Ein kleiner Cylinder von Messing wird auf dem Kessel befestigt und mit einem Kolben versehen, der sich in demselben ohne starke Reibung und beinahe dampfdicht bewegt. Der Cylinder ist oben geschlossen und hat eine Oeffnung, in welcher die Kolbenstange spielt, so daß der Kolben nicht durch den Dampfdruck aus dem Cylinder geworfen werden kann. Auf der Seite des Cylinders befinden sich kleine Löcher, die in kurzen Entfernungen über einander stehen. Der Kolben sei mit einem Gewichte beladen, das mit dem Drucke des zu erzeugenden Dampfes in Verhältniß steht. Hat der Dampf hinlängliche Elasticität erlangt, so wird der Kolben sich heben und Dampf durch die erste Oeffnung entweichen. Wenn die Dampferzeugung nicht zu rasch ist und der Druck des Dampfes nicht zunimmt, so wird der Kolben in jener Lage bleiben; nimmt der Druck aber zu, so steigt der Kolben über das zweite Loch und fährt fort zu steigen, bis das Entweichen des Dampfes durch die Löcher hinlänglich ist, die Schwere des Kolbens zu einem Gegengewichte des Dampfes zu machen. Dieses Sicherheits-Ventil ist vorzüglich anwendbar in den Fällen, wo Dampf von ganz gleichförmigem Drucke verlangt wird; denn der Druck muß nothwendig immer dem Gewichte des Kolbens gleich sein. Man nehme an, der Querschnitt des Kolbens sei einem Quadratzolle gleich und mit 10 Pfund, sein eigenes Gewicht hinzugerechnet, belastet, so muß der Dampf, der ihn in irgend einer Stellung im Cylinder erhalten soll, sei es nahe am Boden oder am oberen Ende, immer einem Drucke von 10 Pfund auf den Quadratzoll gleich sein. In dieser Hinsicht gleicht diese Vorrichtung dem bereits beschriebenen Regulator, und sie macht den Dampfdruck gleichförmig, genau in derselben Art wie der Regulator die Geschwindigkeit der Maschine gleichförmig macht.

73.

Die Ersparung des Feuerungsbedarfs ist großentheils durch die Anlage des Feuerherdes bedingt, abgesehen von den Wirkungen der bereits beschriebenen Vorrichtungen.

Der Herd befindet sich unter dem Kessel, und da die atmosphärische Luft durch den Luftkanal streicht, so wird genug Sauerstoff zugeführt, um eine lebhafte Flamme zu unterhalten, welche durch den Luftzug in einen Kanal getrieben wird, der zweimal oder mehrmal um den Kessel, ihn unmittelbar berührend, läuft und endlich in den Rauchkanal geht. Durch den Feuerkanal zieht die Flamme, um alle Theile des Kessels spielend, an welchen der Zug vorbeigeht, und hört oft erst bei dem Uebergange in den Rauchkanal und zuweilen erst bei dem Ausgange aus demselben auf, als Flamme zu erscheinen.

Der dicke schwarze Rauch, der aus den Rauchfängen der Feuerherde anfsteigt, entsteht aus einer Menge von unverbrauchtem Brennstoff und kann daher als eine Verschwendung von Feuerungsmitteln betrachtet werden. Ueberdieß ist in großen Manufakturstädten, wo es viele Feuerherde gibt, der in der Luft verbreitete Rauch der Gesundheit nachtheilig und für die Annehmlichkeiten des Lebens störend.

Diese Umstände haben die Sachverständigen veranlaßt, auf Mittel zu denken, durch welche der Rauch oder der verschwendete Brennstoff zum Dienste der Maschine selbst verbraucht, oder zu jedem andern Zwecke, wozu der Herd zu benutzen wäre, verwendet werden könnte. Gewöhnlich sucht man dieß dadurch zu bewirken, daß man die Feuerungsmitrel im Zustande völliger Verbrennung, und daher nicht raucherzeugend, immer auf den Theil des Rostes legt, welcher der Mündung des Zuges am nächsten ist und den wir daher den Hintergrund nennen wollen. Dieses Mittel bewirkt, daß der Rauch, der aus den unvollkommen verbrannten Steinkohlen entsteht, die näher an der Vorderseite des Rostes liegen, über das Glutfeuer gehen muß, ehe er in den Kanal kommt, in welchen er daher nur in flammendem Zustande gelangt. Ein Gang, die Speisemündung genannt, führt zu der Vorderseite des Rostes, und sowohl dieser Gang als der Rost selbst sind gegen den Horizont unter einem kleinen Winkel geneigt, um das Vorrücken der Feuerungsmittel bei fortschreitender Verbrennung zu erleichtern.

Müssen frische Feuerungsmittel auf den Rost kommen, so legt man sie bloß in die Speisemündung. Hier werden sie zum Theil der Wirkung der Hitze der auf dem Roste brennenden Kohlen ausgesetzt, und einigermaßen entschwefelt. Die Thüre der Speisemündung hat kleine Oeffnungen, um einen Luftstrom einzulassen, welcher den bei dem Entschwefeln der frischen Kohlen entwickelten Rauch über das Glutfeuer auf dem Roste treibt, wodurch der Rauch verbrannt wird, in einer Flamme in den Feuerkanal übergeht und um den Kessel spielt. Wenn der Herd nun Nahrung braucht, so wird die Thüre der Speisemündung geöffnet, und die in dieselbe gelegten, zum Theil entschwefelten Kohlen werden auf die Vorderseite des Rostes geschoben. Anfänglich, da die Verbrennung unvollkommen ist, wiewohl schnell fortschreitet, steigt ein dicker schwarzer Rauch auf; der durch die offene Thüre der Speisemündung einströmende Luftzug aber führt ihn über die Glut und er geht in Flammen im Kanal hinauf. Wenn der Herd wieder gespeist werden muß, sind die früher eingeschütteten Kohlen im Zustande völliger Verbrennung und werden in den Hintergrund, nahe an die Oeffnung des Kanals geschoben, ehe andere aus der Speisemündung hinein gebracht werden. Die Oeffnungen in der Thüre dieser Mündung haben Deckel, so daß die Arbeiter nach Belieben Luft in dieselben einlassen können. Die Wirksamkeit des Feuerherdes hängt großen Theils von der angemessenen Zulassung der Luft durch die Speisemündung ab. Läßt man weniger einströmen, als zur fortdauernden Verbrennung der Steinkohlen nothwendig ist, so wird ein Theil des Rauchs nicht verzehrt; strömt zu viel ein, so wird die Wirkung der Feuerung durch Abkühlung des Kessels aufgehoben. Erwägt man das beschriebene Verfahren, so sieht man leicht, daß es ganz unmöglich ist, den Luftzug in einem solchen Herde so zu leiten, daß nicht bald zu viel, bald zu wenig geschehe. Ist die Thüre der Speisemündung geöffnet, um frische Kohlen einzulegen und die früher eingelegten auf den Rost zu schieben, so hat der Aufseher bald keine Gewalt mehr über den Luftzug, und selbst zu andern Zeiten, wenn die Thüre geschlossen ist, kann man sich auf seine Vorsicht und

Aufmerksamkeit nicht verlassen. Bei diesen Mängeln haben denn die Eigenthümer der Dampfmaschinen gefunden, daß sie, statt an Feuerungsmitteln zu ersparen, bei dem Gebrauch dieser Herde einen unerschwinglichen Aufwand machen mußten.

74.

Brunton in Birmingham richtete seine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand, und legte einen Herd an, der von den angegebenen Mängeln frei zu sein scheint. Er legt die Steinkohlen nur in geringer Menge und immer in sehr kurzen Zwischenräumen, etwa nach zwei oder drei Sekunden, auf den Rost. Die Kohlen werden so gelegt, daß der entwickelte Rauch über den Theil des Rostes streichen muß, wo die Kohlen in voller Verbrennung sind, und daher verzehrt wird. Da die Einlegung der Kohlen gleichförmig in kurzen Zwischenräumen geschieht, so ist auch die Einlassung der Luft gleichförmig und verlangt keine Aufmerksamkeit von Seiten des Aufsehers. Die Kohlen werden mittels einer von der Maschine in Bewegung gesetzten Vorrichtung auf den Rost gebracht, so daß die Menge der Feuerungsmittel nach der von der Maschine verlangten Leistung abgemessen wird, und die zur Verzehrung des Rauches eingelassene Luft wird auf dieselbe Weise geregelt. Die Feuerthüre wird nie geöffnet, ausgenommen, um das Feuer zu reinigen. Der Kessel ist daher nie jener steten Ungleichheit der Temperatur ausgesetzt, die bei dem gewöhnlichen Herde so unvermeidlich und dem Kessel sehr nachtheilig ist. Die einzige Aufmerksamkeit, die verlangt wird, besteht darin, den Kohlenbehälter alle zwei bis drei Stunden zu füllen und das Feuer zu reinigen, wenn es nöthig ist. Die Kohlen werden vollständiger verzehrt als auf dem gewöhnlichen Herde, und alle Wirkungen des Schürens, wobei immer viele Kohlen in das Aschenloch fallen, werden erreicht, ohne die Kohlen auf dem Roste zu bewegen. So beschreibt Brunton selber die Vortheile seiner Einrichtung. Sein Herd ist ein kreisrunder Rost, der wagerecht auf einer senkrechten Unterlage ruht, welche durch ein von der Maschine selbst bewegtes

Räderwerk umgedreht wird. Auch kann man sie mittels eines Wasserrades drehen, auf welches ein Wasserstrom aus einem Behälter geleitet wird, dem die Maschine durch eine Pumpe Zufluß schafft. Die Menge des zugeleiteten Wassers läßt sich so abmessen, daß man den Rost mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit umdrehen kann. In dem Theile des Kessels, der sich über dem Herde befindet, ist eine Oeffnung, worin ein Behälter angebracht ist, durch welchen man so viele Kohlen auf den Rost bringt, als von Minute zu Minute gebraucht werden. Die Vorrichtung, welche die Kohlen in den Behälter schafft, wird gleichfalls durch die Maschine in Bewegung gesetzt, und zwar durch dieselben Mittel, die das Umdrehen des Rostes bewirken, so daß dieser sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, welche mit der Schnelligkeit, die bei dem Einschütten der Kohlen in den Behälter statt findet, im Verhältniß steht. Bei dieser sinnreichen Einrichtung werden die Kohlen immer in einer gleich dicken Schicht auf den Rost gebracht.

Der Wasserzufluß für das Rad, das den Rost und die Vorrichtung in dem Kohlenbehälter in Bewegung setzt, wird durch einen Hahn geregelt, der mit dem selbst wirkenden Dämpfer in Verbindung steht. Wird der Dampf zu schnell erzeugt, so vermindert sich der Wasserzufluß, und durch dasselbe Mittel, welches dieß bewirkt, wird auch der Zufluß von Brennstoff vermindert und der Rost dreht sich langsamer. Wird der Dampf zu langsam für den Bedarf der Maschine erzeugt, so treten die entgegengesetzten Wirkungen ein. Auf diese Weise stehen die auf den Herd gebrachten Feuerungsmittel in genauem Verhältnisse mit den von der Maschine verlangten Leistungen. Der Behälter kann so groß gemacht werden, daß er Kohlen für ein ganzes Tagewerk faßt, und der Herd verlangt keine andere Sorgfalt, als daß jeden Morgen Kohlen in den Behälter geschüttet werden.

Aus dem Behälter kommen die Kohlen auf den Theil des Herdes, der von dem Feuerkanal am weitesten entfernt ist, und da auf einmal nur eine sehr geringe Menge hinabgeht, so wird sie sogleich verbrannt. Ehe die Verbrennung voll-

ständig erfolgt, steigt Rauch auf, welcher, über die lebhaft brennenden Kohlen zu dem Kanal streichend, in einer Flamme verbrennt. Luft wird durch besondere Oeffnungen eingelassen und ihre Menge durch den Dämpfer auf dieselbe Weise geregelt wie der Zufluß von Brennstoff.

Diese schöne Erfindung hat einleuchtende Vorzüge vor dem gewöhnlichen Herd. Durch die Vorrichtungen, welche den Zufluß von Kohlen und atmosphärischer Luft bewirken und beides nach dem Maße der Leistungen der Maschine abmessen, unabhängig von menschlicher Arbeit und genauer als es menschliche Geschicklichkeit oder Aufmerksamkeit vermöchte, wird Aufwand an Brennstoff und Arbeit erspart.

75.

Oldham in Dublin hat eine andere Vorrichtung zu einem Feuerherd angegeben, die mehre Vorzüge zu haben scheint und sehr sinnreich ist. Er bedient sich eines wenig gegen den Horizont geneigten Rostes, an dessen niedrigerem Ende hinten ein Kanal ist, während an dem vorderen höheren Ende der Behälter zur Aufnahme der Kohlen angebracht ist. In dem Boden oder engeren Ende des Behälters befindet sich eine bewegliche Leiste, welche von der Maschine in Bewegung gesetzt wird. Wird diese Leiste zurückgezogen, so können einige Kohlen auf eine fest liegende Leiste unter jener hinabfallen, und wenn die bewegliche Leiste in ihre Lage zurückkehrt, werden die Kohlen auf den Rost gestoßen. Ein Stab des Rostes um den andern ist fest, aber die Zwischenstäbe sind durch Hebel verbunden, durch welche sie abwechselnd auf und nieder bewegt werden *). Die Folge davon ist, daß die Kohlen auf den Stäben des Rostes stets gerüttelt werden und nach und nach durch ihr eigenes Gewicht von der Vorderseite des Rostes, wohin sie aus dem Kohlenbehälter fallen, nach dem Hintergrunde desselben rücken, wo sie endlich in das Aschenloch hinabgehen. Bei

---

*) Brunton gebrauchte vor der Einführung seines horizontalen sich umdrehenden Rostes bewegliche Stäbe, die er aber aufgab. Oldham versichert, sein Herd sei mehre Jahre gebraucht worden, ohne einer Ausbesserung zu bedürfen, und habe ihm viel Feuerungsmittel erspart.

der Einrichtung der Stäbe des Rostes geht die Luft aufwärts zwischen ihnen hindurch und streicht durch die brennenden Kohlen, daß sie gleichsam wie ein Blasebalg wirkt und die ganze Fläche des Herdes wie eine einzige Flammenschicht erscheint.

Wir müssen über diese schönen Erfindungen erstaunen, durch welche die Dampfmaschine sich selbst regelt und ihre Bedürfnisse selbst befriedigt. Alles ist hier in der That belebt. Schon lange vorher, ehe die Dampfmaschine ihre jetzige Vollkommenheit erreicht hatte, bemerkte Belidor, sie gleiche einem Thiere und nie habe ein Menschenwerk sich so sehr dem wirklichen Leben genähert. Wärme ist das Prinzip ihres Daseins. Die Stelle des Herzens versieht der Kessel, aus welchem die belebende Flüssigkeit reichlich durch alle Röhren strömt, und wenn sie hier die verschiedenen Lebensverrichtungen versehen und ihre Wärme an den gehörigen Stellen abgesetzt hat, kehrt sie zu der Quelle zurück, aus welcher sie entsprungen ist, um zu einem neuen Umlaufe vorbereitet zu werden. Die gesunde Beschaffenheit ihrer Thätigkeit wird durch die Regelmäßigkeit ihrer Pulsschläge angezeigt. Sie verschafft sich ihre Nahrung durch ihre eigene Arbeit, sie sucht die Theile aus, die zu ihrem Unterhalte hinsichtlich der Menge wie der Beschaffenheit tauglich sind, und hat ihre natürlichen Ausleerungen, durch welche alle unnützen und nicht nährenden Theile ausgeführt werden. Oft heilt sie ihre Krankheiten selbst und verbessert die Unregelmäßigkeit ihrer Thätigkeiten, indem sie gleichsam moralische Fähigkeiten ausübt. Ohne die Aehnlichkeit weiter verfolgen zu wollen, deutet Farey noch einige Beziehungen an, wo die Aehnlichkeit merkwürdig hervortritt. „Wir müssen bemerken, sagt er, daß die Veränderung in der Leistung verschiedener Dampfmaschinen, die nach demselben Prinzip gebaut sind und unter denselben Vortheilen arbeiten, dieselbe ist, die man in dem Ergebnisse der Arbeit eben so vieler verschiedenen Pferde oder anderer Thiere, in Vergleichung mit der von ihnen verzehrten Nahrung, findet. Die Wirkungen verschiedener Dampfmaschinen ändern sich so sehr nach kleinen Verschiedenheiten in dem Verhältnisse ihrer Theile,

als die Stärke der Thiere nach der Kraft ihrer Körperbeschaffenheit, und eben so werden sich große Verschiedenheiten in der Leistung derselben Maschinen zeigen, je nachdem sie in guter oder schlechter Ordnung ist, ihre Theile dicht und gut eingeölt sind und sich mit geringer Reibung bewegen, wie wir es bei der Arbeit eines Thieres finden, je nachdem es in gutem oder schlechtem Gesundheitszustande oder sehr ermüdet ist; aber in all diesen Fällen wird man ein Höchstes finden, das nicht überschritten werden kann, und eine Durchschnitt-Leistung, die man erwarten darf."

Achter Abschnitt.

Doppelcylinder-Maschinen.

76.

Die ausdehnende Kraft des Dampfes, von welcher Watt in seiner einfach wirkenden Maschine Gebrauch machte, indem er den Dampfzufluß abschnitt, ehe das Niedersteigen des Kolbens vollendet war, wurde von Hornblower um das Jahr 1781, und später von Woolf auf eine eigenthümliche Weise angewendet. Hornblower faßte zuerst den Gedanken, eine Maschine mit zwei Cylindern von verschiedener Größe wirken zu lassen. Der Dampf strömte ungehindert aus dem Kessel, bis der kleinere Cylinder gefüllt war, worauf er in den größeren überging, und trieb auf diese Weise zwei Kolben. Hornblower's Condensations-Vorrichtung, wie die übrigen Zubehörungen der Maschine waren von Watt's Einrichtungen nicht wesentlich verschieden, und es wird daher für unseren Zweck hinlänglich sein, die Art zu beschreiben, wie der Dampf den Kolben bewegte.

Es sei C (Fig. 43) das Centrum des großen Balanciers, der zwei bogenförmige Enden hat, über welche die Ketten der Kolbenstangen gehen. Die Entfernung jener bogenförmigen Enden von dem Centrum C muß dasselbe Verhältniß haben, wie die Länge der Cylinder, damit dieselbe Bewegung des Balanciers mit dem Spiele beider Kolben in Uebereinstimmung sei. Es sei F die aus dem Kessel gehende Dampfröhre und G ein Ventil, das den Dampf über den kleineren Kolben einströmen läßt. Die Röhre H kann mittels des Ventils I

eine Verbindung zwischen dem oberen Theile und dem Boden des kleineren Cylinders öffnen. Die Röhre K verbindet durch das Ventil L den Boden des kleineren Cylinders B mit dem oberen Theile des größeren A, und die Röhre M mittels des Ventils N den oberen Theil und den Boden des größeren Cylinders. Die Röhre P führt durch das Ausleerungs-Ventil O in den Condensator.

Man nehme an, es seien bei dem Anfange der Wirkung der Maschine alle Ventile geöffnet, und es fließe Dampf durch die ganze Maschine, bis die Luft gänzlich entfernt ist. Dann schließt man alle Ventile. Soll die Thätigkeit der Maschine beginnen, so öffnet man das Ausleerungs-Ventil O und die Dampf-Ventile G und L, wie in Fig. 43. Der Dampf strömt nun frei aus dem Kessel und drückt auf den kleineren Kolben; zu derselben Zeit geht der Dampf unter dem größeren Kolben in den Condensator und läßt einen luftleeren Raum in den größeren Cylinder. Wird das Ventil L geöffnet, so strömt der Dampf, der sich unter dem Kolben des kleineren Cylinders befindet, durch K und drückt auf den größeren Kolben, welcher, da sich unter ihm ein luftleerer Raum befindet, alsbald niedersteigt. Bei dem Anfange der Bewegung erleidet der kleinere Kolben durch den unter ihm befindlichen Dampf eben so viel Widerstand, als er durch den Dampf über ihm getrieben wird, nachdem er aber seinen Niedergang zum Theil vollendet hat, geht der unter dem kleineren Kolben befindliche Dampf in den größeren Cylinder über, breitet sich hier in einem größeren Raum aus und verliert daher verhältnißmäßig an elastischer Kraft. Der Dampf über dem kleineren Kolben behält seine volle Kraft, weil er durch das Ventil G eine freie Verbindurg mit dem Kessel hat, dieser Kolben wird daher durch eine Kraft getrieben werden, gleich dem Uebergewichte des Druckes dieses Dampfes über den verminderten Druck des ausgedehnten Dampfes unter ihm. Wenn die Kolben niedersteigen, so nimmt der zwischen ihnen befindliche Dampf stets an Umfang zu und verliert dagegen an Kraft des Druckes, woraus folgt, daß die Kraft, welche dem kleineren Kolben Widerstand leistet, stets abnimmt, wäh-

rend diejenige, die ihn niederdrückt, dieselbe bleibt, und es muß daher die wirkliche Kraft, die ihn treibt, stets zunehmen. Die den größeren Kolben treibende Kraft nimmt aber immer ab, weil ein luftleerer Raum unter ihm ist und der Dampf, der ihn drückt, sich immer mehr im Raume ausdehnt.

Nehmen wir nun an, die durch diese Kraft getriebenen Kolben seien auf dem Boden der Cylinder angekommen, wie in Fig. 44, und die Ventile G, L und O geschlossen, die Ventile I und N offen. Es kann kein Dampf aus dem Kessel kommen, da G geschlossen ist, und auch nicht in den Condensator strömen, da O geschlossen und alle Verbindung zwischen den Cylindern durch die Schließung von L abgesperrt ist. Durch die Oeffnung des Ventils I wird eine freie Verbindung zwischen dem oberen Theile und dem Boden des kleineren Cylinders durch die Röhre H bewirkt, so daß der Dampf, der oben auf den kleineren Kolben drückt, dem Dampfdrucke von unten gleich und der Kolben in einem indifferenten Zustande sein wird. Wird das Ventil N geöffnet, so entsteht eine Verbindung zwischen dem oberen Theile und dem Boden des größeren Kolbens; es ist Dampf über und unter ihm und er kann nun aufsteigen. Ein Gegengewicht, das in diesem Falle an die Pumpenstangen befestigt wird, zieht den Kolben empor, wie in Watt's einfach wirkender Maschine, und wenn sie oben ankommen, werden die Ventile I und N geschlossen, G, L und O geöffnet, uud das nächste Niedersteigen der Kolben wird auf die bereits beschriebene Art hervorgebracht.

Die Ventile werden durch die Maschine selbst gesteuert, auf ähnliche Weise, wie wir in andern Fällen angegeben haben. Man findet durch Berechnung, daß diese Maschine ungefähr so viel Leistungskraft hat, als Watt's einfach wirkende. Es scheint jedoch durch die darin ausgeführte Veränderung des Prinzips kein angemessener Vortheil erlangt zu sein, da man jetzt keine Maschinen dieser Art mehr baut.

40.

Der Gebrauch doppelter Cylinder wurde 1804 von Arthur Woolf wieder ins Leben gerufen. Er erlangte Patente für die Anwendung eines Dampfes von hohem Drucke auf Doppelcylinder-Maschinen. Nach seiner Angabe will er durch Versuche gefunden haben, daß Dampf, unter einem Sicherheits-Ventil aufsteigend, welches mit irgend einer gegebenen Anzahl von Pfunden auf den Quadratzoll beladen sei, einen dem atmosphärischen gleichen Druck ausüben werde, so bald er sich eben so vielmal im Raum ausdehnen könne, als er mit Pfunden auf den Quadratzoll drücke. Wäre z. B. das Sicherheits-Ventil mit 4 Pfund auf den Quadratzoll belastet, so würde der Dampf, nachdem er einen viermal größeren Rauminhalt angenommen hat, den atmosphärischen Druck haben. Man setzte jedoch in diesem Falle voraus, daß das Gefäß, in welchem er sich ausgedehnt hat, dieselbe Temperatur habe, die der Dampf vor der Ausdehnung hatte.

Es ist schwer zu erklären, wie ein Mann von Woolf's Erfahrenheit in der praktischen Anwendung des Dampfes sich zu so groben Irrthümern verleiten lassen konnte, als sich in den Angaben finden, die er bei der Erlangung seines Patents vorlegte, und noch unerklärbarer, wie die Versuche angestellt gewesen sein mögen, die ihn zu Schlüssen geführt haben, welche nicht nur unvereinbar mit den anerkannten Eigenschaften elastischer Flüssigkeiten sind, sondern auch handgreifliche Widersprüche und Ungereimtheiten enthalten. Wenn man annehmen wollte, daß jedes hinzukommende Pfund, welches auf das Sicherheits-Ventil gestellt würde, den Dampf fähig mache, durch seine Ausdehnung in einem verhältnißmäßig vergrößerten Raum einen dem atmosphärischen gleichen Druck zu erlangen, so würde daraus offenbar folgen, daß es eine physische Beziehung zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Pfundgewicht gebe. Man muß sich wundern, wie Woolf übersehen konnte, daß sein Grundsatz, wenn er an einem gegebenen Orte für wahr anerkannt würde, an einem andern, bei einer verschiedenen Barometerhöhe, nothwendig

falsch sein müsse. Wäre der Grundsatz am Fuße eines Gebirges wahr, so würde er auf dem Gipfel desselben falsch sein, wäre er bei heiterem Wetter wahr, so wäre er falsch bei schlechtem, da diese Umstände mit einer Veränderung in dem atmosphärischen Drucke verbunden sind, ohne irgend eine Veränderung in dem Pfundgewicht hervorzubringen.

Woolf wollte das neue Gesetz für die Ausdehnung der Dämpfe, das er entdeckt zu haben glaubte, durch eine Vorrichtung von Cylindern ausführen, die der von Hornblower angegebenen ähnlich war, aber seine Cylinder sollten nach dem Verhältnisse der größeren Dampfausdehnung, die er gebrauchen wollte, größer sein. Zwei Cylinder, wie in Hornblower's Maschine, wurden unter den Balancier gestellt, und die Entfernung ihrer Kolbenstangen von der Achse desselben standen im Verhältniß zu der Länge ihrer Kolbenhübe. Die Größe der Cylinder A und B (Fig. 45) mußte nach dem Umfange, in welchem das Gesetz der Expansion angewendet werden sollte, eingerichtet werden. Die Ventile CC′ waren an jedem Ende des kleineren Cylinders in Röhren angebracht, welche mit dem Kessel in Verbindung standen, so daß auf jeder Seite des kleineren Kolbens Dampf eingelassen und nach Belieben abgesperrt werden konnte. Eine Röhre D′ bildete eine Verbindung zwischen dem oberen Ende des kleineren und dem unteren Ende des größeren Cylinders, und diese Verbindung ließ sich nach Belieben durch das Ventil E′ öffnen und absperren. Auf gleiche Weise verband die Röhre D das untere Ende des kleineren und das obere des größeren, und ließ sich durch das Ventil E öffnen und schließen. Der obere Theil und der Boden des größeren Cylinders waren mit dem Condensator durch die Ventile F′ F verbunden.

Nehmen wir an, die Luft sei aus der Maschine auf die gewöhnliche Art entfernt und jedes Ventil geschlossen, die Maschine bereit, ihre Arbeit zu beginnen, und die Kolben seien im oberen Theile der Cylinder. Die Ventile C, E und F werden geöffnet. Der Dampf, der sich unter dem Kolben in dem größeren Cylinder befindet, geht durch F in den Condensator über und läßt einen luftleeren Raum unter dem Kolben. Der Dampf

in dem kleineren Cylinder unter dem Kolben geht durch D, öffnet das Ventil E und drückt den größeren Kolben nieder. Aus dem Kessel strömt bei C Dampf ein und drückt auf den kleineren Kolben. Anfänglich wird die ganze Bewegung von dem Drucke auf den größeren Kolben ausgehen, da der Dampf sowohl über als unter dem kleineren Kolben denselben Druck hat. Steigen aber die Kolben nieder, so wird der unter dem kleineren Kolben befindliche Dampf, indem er in den größeren Cylinder übergeht, in einem größeren Raume ausgedehnt und übt daher einen geringern Druck aus, wogegen der Dampf auf der anderen Seite, der einen unverminderten Druck hat, eine treibende Kraft erlangt, welche genau dem Drucke gleich ist, der bei der Ausdehnung des Dampfes zwischen den beiden Kolben verloren gegangen ist. So werden beide Kolben auf den Boden ihrer Cylinder niedergedrückt. Man wird bemerken, daß bei dem Niedersteigen der größere Kolben durch eine fortdauernd abnehmende Kraft gedrückt wird, während den kleineren eine fortdauernd zunehmende Kraft drückt.

Kommen die Kolben auf dem Boden der Cylinder an, so seien die Ventile C E und F geschlossen und C′ E′ F′ offen, wie in Fig. 46. Der Dampf über dem größeren Kolben strömt nun durch F′ in den Condensator und der Raum über dem Kolben wird luftleer. Der Dampf über dem kleineren Kolben geht durch E′ und D′ unter den größeren, während der Dampf aus dem Kessel durch C′ unter den kleineren Kolben strömt. Der Druck des Dampfes, der durch E′ unter den größeren Kolben eingelassen wird, drückt diesen gegen den luftleeren Raum über ihm und das Aufsteigen beginnt. Der Dampf über dem kleineren Kolben tritt mittlerweile in den erweiterten Raum des größeren Cylinders, verliert allmälig seine elastische Kraft, so daß der aus dem Kessel bei C′ einströmende Dampf zum Theil wirksam wird, und das Aufsteigen wird genau unter denselben Umständen wie das Niedersteigen vollendet.

Es liegt am Tage, daß die Ventile leicht durch den Mechanismus der Maschine gesteuert werden können.

Da bei Maschinen dieser Art die Kolben gleichzeitig aufsteigen und hinabgehen, so müssen ihre Stangen am Balancier

auf derselben Seite des Centrums befestigt werden. Zuweilen kann es wünschenswerth sein, sie an verschiedenen Seiten des Centrums anzubringen, so daß die eine aufsteige, während die andere niedersteigt. Es ist leicht, die Ventile so einzurichten, daß dieß bewirkt werde. In Fig. 47 ist der kleinere Kolben auf dem Boden, der größere in dem oberen Theile. Oeffnet man die Ventile C′E′F′, so entsteht ein luftleerer Raum unter dem größeren Kolben und Dampf strömt aus dem kleineren Cylinder durch E′ über den größeren Kolben und drückt ihn nieder. Zu derselben Zeit wird Dampf aus dem Kessel durch C′ unter den kleineren Kolben eingelassen und drückt ihn aufwärts gegen die verminderte Kraft des Dampfes über ihm, der in dem größeren Cylinder sich ausdehnt. Während der größere Kolben niedersteigt, geht der kleinere aufwärts. Hat jeder seinen Cylinder durchlaufen, so werden die Ventile C′E′F′ geschlossen und CEF geöffnet; der kleinere Kolben steigt hinab, der größere hinauf.

78.

Das Gesetz, nach welchem die elastische Kraft des Dampfes sich vermindert, wenn er sich ausdehnt, das aber Woolf nicht gekannt zu haben scheint, tritt auf gleiche Weise bei der Luft wie bei anderen elastischen Flüssigkeiten hervor. Wenn der Dampf zweifach oder dreifach an Volumen zunimmt, so verliert er seine elastische Kraft in demselben Verhältnisse, als sein Rauminhalt größer wird, und wird daher nur die Hälfte oder ein Drittheil seines früheren Druckes ausüben, vorausgesetzt, daß seine Temperatur bei der Ausdehnung gleich bleibe. Obgleich Woolf's Patent den irrigen Grundsatz enthielt, den wir angegeben haben, so gab doch seine Erfindung, in so fern sie auf den Gedanken führte, Dampf von sehr hohem Drucke anzuwenden und ihm eine weit größere Ausdehnung zu gestatten als Watt oder Hornblower, die Mittel an die Hand, eine bedeutende Ersparung an Brennstoff zu bewirken. In Maschinen zum Pumpen im Großen gebraucht, konnte der Dampf, da er unter einem Drucke von vierzig bis funfzig Pfund oder mehr auf den Quadratzoll erzeugt wird, anfänglich in einem kleinen Raume

mit voller Kraft wirken und nach der Absperrung der Verbindung mit dem Kessel vortheilhaft in einen sehr großen Raum ausgedehnt werden. Einige nach diesem Grundsatze gebaute Doppelcylinder-Maschinen hat man in Cornwall mit großer Ersparniß eingeführt. Das Prinzip der Expansiv-Kraft des Dampfes, verbunden mit hohem Drucke, das man jetzt bei den zur Gewältigung der Grubenwässer bestimmten Maschinen anwendet, ist das ursprünglich von Watt aufgestellte. Ein einziger Cylinder von beträchtlicher Länge wird angewendet; der Kolben wird nur auf einem kleinen Theile seines Weges durch Dampf getrieben, der unter sehr hohem Drucke aus dem Kessel kommt, und ist der Dampf dann abgesperrt, so wird der Kolben durch die Expansiv-Kraft des eingelassenen Dampfes gedrückt und durch dieses Mittel auf den Boden des Cylinders gebracht.

Es ist unter diesen Umständen klar, daß der Druck des aus dem Kessel zugeströmten Dampfes weit größer sein muß, als der dem Kolben entgegengesetzte Widerstand, und daß die Bewegung des Kolbens anfänglich beschleunigt, aber nicht gleichförmig sein muß. Bewegte sich der Kolben von Anfang an gleichförmig, so müßte der ihn treibende Dampfdruck nothwendig dem ihm entgegengesetzten Widerstande völlig gleich sein, und wenn dann der Dampfzufluß aus dem Kessel abgeschnitten würde, könnte der Kolben seine Bewegung bloß vermöge des Beharrungsgesetzes *) fortsetzen, da der Druck des Dampfes augenblicklich geringer würde als der Widerstand, und nachdem der Kolben durch einen sehr kleinen Raum ge-

*) Zur Entstehung einer Bewegung und zu jeder Veränderung derselben wird die Wirkung einer Kraft erfodert, und nach einem allgemeinen Naturgesetze bleibt ein Körper im Zustande der Ruhe, so lange er nicht durch die Wirkung einer Kraft in Bewegung gesetzt wird, und beharrt so lange in der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, bis irgend eine Kraftwirkung ihn zwingt, die Richtung oder die Geschwindigkeit zu ändern oder ganz in Ruhe überzugehen. Dieses Gesetz, nach welchem der Körper in seinem bestimmten Zustande der Ruhe oder der Bewegung bleibt, bis irgend eine Ursache ihn veranlaßt, denselben zu ändern, nennt man das Beharrungsgesetz oder unpassend und uneigentlich die Trägheitskraft.

gangen wäre, würde er auf den Dampf zurückfallen und in den Zustand der Ruhe kommen. Der Dampf übt aber in dem Augenblicke, wo er abgesperrt wird, einen Druck aus, der weit größer ist als der Widerstand auf den Kolben, und wird daher fortfahren diesen zu treiben, bis seine Kraft durch seine Ausdehnung so weit vermindert ist, daß sie dem Widerstande auf den Kolben gleich wird. Nun hört die forttreibende Kraft des Dampfes auf und der Kolben bewegt sich nur nach dem Beharrungsgesetze. Der Augenblick, wo der Dampf abgesperrt wird, sollte daher so bestimmt werden, daß er durch seine Ausdehnung einen dem Widerstande auf den Kolben gleichen Druck nicht eher erhält, bis er so weit von dem Ende eines Kolbenhubes entfernt ist, daß der Kolben sich vermöge des Beharrungsgesetzes weiter bewegen kann. Es ist offenbar, daß die Bestimmung dieses Zeitpunktes große Sorgfalt und Genauigkeit in der Behandlung verlangt.

79.

Im Jahre 1797 erhielt der englische Geistliche Cartwright, bekannt durch andere mechanische Erfindungen, ein Patent auf einige Verbesserungen der Dampfmaschine. Seine Erfindung ist so schön und einfach, daß wir, obgleich sie nicht ausgeführt worden ist, sie hier nicht übergehen können.

Die aus dem Kessel kommende Dampfröhre ist mit B (Fig. 48) bezeichnet. Das Ventil T läßt Dampf über dem Kolben einströmen, und R ist ein Ventil im Kolben. Die gekrümmte Röhre D bildet die Verbindung zwischen dem Cylinder und dem Condensator, der eine ganz eigenthümliche Einrichtung hat. Cartwright wollte die Condensation ohne Einspritzung bewirken, indem er den Dampf mit einer sehr ausgedehnten kalten Oberfläche in Berührung brachte. Zu diesem Zwecke bildete er seinen Condensator mittels zweier Cylinder von beinahe gleicher Größe, die in einander gestellt waren, und ließ das Wasser des kalten Behälters, in welchem sie standen, durch den inneren Cylinder fließen und den äußeren umgeben. So bildete der Raum zwischen den beiden Cylindern den Condensator.

Die Luftpumpe steht unmittelbar unter dem Cylinder, und ihren Kolben, der nicht hohl und ohne Ventil ist, bewegt die Fortsetzung der Kolbenstange. F ist eine aus dem Condensator in die Luftpumpe gehende Röhre, durch welche der condensirte Dampf mittels des Ventils G bei dem Aufsteigen und dem Niedergange des Kolbens abgeleitet wird, und dann durch eine Röhre in den warmen Brunnen H geht, um durch die Speiseröhre I in den Kessel zu gelangen. In dem oberen Theile des warmen Brunnens ist ein nach innen sich öffnendes Ventil, das durch eine auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmende Kugel geschlossen wird. Der Druck der Luft auf die Oberfläche dieser Flüssigkeit treibt diese durch I in den Kessel. Häuft die Luft in H sich zu sehr an, so wird die Oberfläche der Flüssigkeit so weit niedergedrückt, daß die Kugel sinkt, und indem sich das Ventil öffnet, die Luft entweichen kann. Die in H befindliche Luft ist mit der Flüssigkeit aus dem Condensator heraufgepumpt worden und hier frei geworden.

Nehmen wir an, der Kolben sei in dem obern Theile des Cylinders. Er hebt das Ventil T, während der Stiel des Kolben-Ventils R an den oberen Theil des Cylinders stößt und dadurch in sein Lager gedrückt wird. Zu derselben Zeit ist eine Verbindung zwischen dem Cylinder unter dem Kolben und dem Condensator durch die Röhre D geöffnet. Wirkt nun der Druck des durch das Ventil T eingelassenen Dampfes auf den Kolben, so wird er in den unter ihm befindlichen luftleeren Raum hinabsteigen. Erreicht der Kolben den unteren Theil des Cylinders, so stößt das Ende des Kolben-Ventils R an den Boden und wird aus seinem Lager gehoben, so daß eine Verbindung mit dem Condensator geöffnet ist. In demselben Augenblicke trifft eine an der Kolbenstange befindliche Hervorragung den Stiel des Dampf-Ventils T und drückt ihn in sein Lager. Der Dampfzufluß ist dadurch abgeschnitten, der Dampf über dem Kolben geht durch R in den Condensator über und der Kolben, von allem Drucke befreit, wird durch das Schwungrad hinaufgezogen, welches die Bewegung fortsetzt, die es von der hinabsteigenden Kraft erhalten hat.

Kommt der Kolben wieder in dem oberen Theile des Cylinders an, so wird T geöffnet und R geschlossen, der Kolben steigt wieder hinab und so wird das Kolbenspiel fortgesetzt.

Der Mechanismus, durch welchen der Kolben das Schwungrad in Bewegung setzt, ist besonders schön. Auf der Achse des Schwungrades befindet sich ein kleines gezähntes Rad, das in die Zähne eines andern größeren Rades L eingreift. Dieses Rad wird durch eine Kurbel gedreht, welche durch einen an den Arm der Kolbenstange befestigten Stab in Bewegung gesetzt wird. Ein anderes eben so gezähntes Rad M. dreht eine Kurbel, die der andere Arm der Kolbenstange bewegt.

Eine der Eigenheiten dieser Maschine besteht darin, daß die Flüssigkeit, die zur Dampferzeugung im Kessel gebraucht wird, durch die Maschine ihren Umlauf macht, ohne vermindert oder mit einer anderen Flüssigkeit vermischt zu werden, so daß der Kessel nie mehr Zufluß braucht, als ihm aus dem warmen Brunnen H zugeführt werden kann. Dieser Umstand ist sehr wichtig, da er es möglich macht, statt des Wassers Branntwein zur Dampferzeugung zu gebrauchen, welcher, da er bei einer niedrigen Temperatur siedet, eine Ersparung der Hälfte des Brennstoffes verspräche.

Die gewöhnliche Art, den Kolben durch Wachs oder Talg dampfdicht zu machen, konnte bei dieser Maschine nicht angewendet werden, da der Dampf über dem Kolben stets einen freien Durchgang durch das Kolben-Ventil R haben muß. Der sinnreiche Erfinder ersann daher ein anderes Mittel zu diesem Zwecke, ohne Oel oder die sogenannte Liederung*) anzuwenden, und seine Angaben sind bei andern Maschinen mit Erfolg benutzt worden.

*) Der Name kommt von der bei gewöhnlichen Pumpenkolben gebräuchlichen Verschließung mit Leder. Gewöhnlich wird der Kolben mit Hanf, entweder in gehechelten langen Streifen oder in gedrehten Seilen, dicht umwickelt, und während die Bodenplatte desselben genau in den Cylinder paßt, hat der obere Theil, der umwickelt wird, einen etwas geringern Durchmesser.

Ein Metallring wird in den Cylinder eingelassen, so daß er vollkommen schließt, und in vier gleiche Segmente getheilt. Die innere Oberfläche dieses Ringes ist ein wenig kegelförmig und es ist ein anderer vollkommen schließender Ring in dieselbe eingelegt und auch dieser in vier Segmente getheilt, jedoch dürfen die Fugen dieser Segmente nicht auf einander treffen. Die Einrichtung dieser Ringe zeigt Fig. 49. In dem inneren Ringe befinden sich vier Federn, welche die Segmente an die Seiten des Cylinders drücken, wie es in Fig. 49 dargestellt ist. Vier Paare dieser Ringe sind über einander gestellt, doch so, daß ihre Fugen nicht auf einander stoßen; das Ganze wird durch Platten am obern Ende und am Boden mittels Schrauben zusammengehalten. Einen Vertikal-Durchschnitt des Kolbens zeigt Fig. 50.

Einer der Vorzüge dieses Kolbens besteht darin, daß er bei längerem Gebrauche immer genauer in den Cylinder paßt, und in dem Verhältniß als die Maschine sich abnutzt, besser wird. Metallene Kolben sind in neueren Zeiten im allgemeinen Gebrauch gekommen, und diese Erfindungen weichen wenig von der oben beschriebenen Art ab.

Neunter Abschnitt.

Dampfwagen auf Eisenbahnen.

80.

In den bis jetzt beschriebenen Abänderungen der Dampfmaschine erhält der auf der einen Seite des Kolbens eingelassene Druck seine Wirksamkeit, ganz oder theilweise, von einem durch Condensation erzeugten luftleeren Raume auf der andern Seite. Dazu ist stets eine condensirende Vorrichtung und ein beständiger und reichlicher Zufluß von kaltem Wasser erfoderlich. Eine Dampfmaschine dieser Art muß von großem Umfange und bedeutendem Gewichte sein und kann nicht zu Zwecken passen, mit welchen nur eine kleine und leichte Maschine vereinbar ist. Wenn man die Condensations-Vorrichtung aufgibt, so wird dem Kolben stets eine dem atmosphärischen Drucke gleiche Kraft entgegenwirken, und nur derjenige Theil des Dampfdrucks kann als bewegende Kraft benutzt werden, der den atmosphärischen Druck überwiegt. Bei Maschinen, die nicht durch Condensation wirken, ist daher ein Dampf von weit höherem Druck als der atmosphärische unumgänglich nöthig, und solche heißen Hochdruck-Maschinen. Doch ist damit nicht gesagt, daß jede Maschine, in welcher Dampf von höherem Drucke als der atmosphärische gebraucht wird, eine Hochdruck-Maschine sei; denn in den gewöhnlichen, nach Watt's Grundsatz gebauten Maschinen ist das Sicherheits-Ventil mit 3 bis 5 Pfund auf den Quadratzoll belastet, und in Woolf's Maschinen wird der Dampf unter einem Drucke von 40 Pfund auf den Quadratzoll erzeugt. Diese würden

daher passender Condensations=Maschinen als Maschinen mit niedrigem Druck genannt werden, ein Name der auf Woolf's Maschinen gar nicht anwendbar ist. Hochdruck=Maschinen sind diejenigen, in welchen kein luftleerer Raum erzeugt wird und daher der Kolben gegen einen dem atmosphärischen gleichen Druck wirkt.

In diesen Maschinen fehlt die Condensations=Vorrichtung, nämlich der Kaltwasser=Behälter, der Condensator, die Luftpumpe, die Kaltwasser=Pumpe u. s. w., und sie haben nichts als Kessel, Cylinder, Kolben und Ventile. Eine solche Maschine ist daher von geringem Umfange, leicht und wohlfeil. Sie läßt sich auch, wenn es nöthig ist, sammt ihrer Ladung von einem Orte zum andern schaffen und ist daher für diesen letztern Zweck besonders passend.

81.

Hochdruck=Maschinen waren eine der frühesten Arten der Dampfmaschine. Die in „Hundert Erfindungen" von dem Marquis von Worcester undeutlich beschriebene Erfindung (siehe 27) ist eine Hochdruck=Maschine; denn die dort angegebene Kraft ist die elastische Kraft des Dampfes, die gegen den atmosphärischen Druck wirkt. Newcomen wendete 1705 den Balancier, den Cylinder und Kolben auf die atmosphärische Maschine an, und Leupold verband um das Jahr 1720 den Balancier und den Cylinder mit dem Prinzip der Hochdruck=Maschine, und gab die erste Hochdruck=Maschine an, die mit einem Cylinder und Kolben arbeitete. In Fig. 51 sehen wir den Kessel A mit dem Herd. Die beiden Cylinder CC′ haben nicht hohle Kolben PP′, mit den Hebeln BB′ verbunden, welche an die Stangen RR′ der beiden Pumpen FF′ befestigt sind. Diese sind mit der großen Röhre S verbunden. G ist der bereits beschriebene (siehe 66) Vierweg=Hahn. Bei der in der Abbildung (Fig. 51) gegebenen Stellung geht der Dampf unter dem Kolben P in die Atmosphäre, nnd der Kolben steigt durch sein eigenes Gewicht nieder. Zu gleicher Zeit drückt Dampf aus dem Kessel den Kolben P′ aufwärts, mit einer Kraft gleich dem Unterschiede zwischen dem Dampfdrucke und

dem atmosphärischen Drucke. So wird der Kolben R der Pumpe F heraufgezogen, der Kolben P′ drückt den Kolben R′ nieder und treibt dadurch Wasser in die Röhre S. Kommt der Kolben P auf den Boden des Cylinders C und P′ in den oberen Theil des Cylinders C′, so ist die Stellung des Hahns geändert, wie Fig. 52 zeigt. Der Dampf, der eben den Kolben P′ aufwärts getrieben hat, geht in die Atmosphäre, während der Dampf, der aus dem Kessel unter den Kolben P strömt, ihn hinauftreibt, und so steigt P durch den Dampfdruck, während P′ durch sein eigenes Gewicht niedersteigt. Auf diese Weise wird der Kolben R niedergedrückt und treibt das Wasser in der Pumpe in die Röhre S. Der Kolben R′ wird hinaufgezogen, damit die andere Pumpe wieder gefüllt werden könne, und so geht es weiter. Am untern Ende der Röhren befindet sich ein Ventil, um das Zurückfließen des hineingetriebenen Wassers zu verhüten. Dieses Ventil öffnet sich aufwärts und bleibt daher, da das Wasser darauf drückt, desto besser verschlossen. Bei jedem Niedersteigen des Kolbens ist der auf das Ventil wirkende Druck größer als das Gewicht des Wassers auf demselben, und es wird daher gehoben, um mehr Wasser einströmen zu lassen.

82.

Von Watt's letzten Verbesserungen der Dampfmaschine bis zum Anfange des neunzehnten Jahrhunderts wurden die Hochdruck-Maschinen in England ganz vernachlässigt. Im Jahr 1802 bauten Trevithik und Vivian die erste Hochdruck-Maschine, die je in England eine umfassende praktische Anwendung erhielt. Einen Vertikal-Durchschnitt dieser Maschine gibt Fig. 68. Der Kessel AB ist ein Cylinder mit flachen kreisförmigen Enden. Der Feuerherd hat eine eigenthümliche Einrichtung. Eine Röhre tritt in den cylindrischen Kessel an dem einen Ende, und durch denselben gehend, krümmt sie sich nicht weit von dem andern, so daß sie parallel mit der Richtung, in welcher sie eingetreten ist, zurückgeht, und wird auf diese Weise an einem andern Theile derselben Seite, wo sie eintrat, aus dem Kessel geführt. Eines der Enden dieser Röhre ist mit dem Rauchfange E verbunden, der aufwärts geführt ist, wie die Figur zeigt.

Die andere Mündung der Röhre hat eine Thüre, in welcher sich der Rost befindet, der aus horizontalen, die Röhre in zwei Abtheilungen theilenden Stäben besteht. Die obere Abtheilung ist der Feuerherd, die untere das Aschenloch. Der Brennstoff liegt auf den Stäben in dem mit CD bezeichneten Theile der Röhre, und der Zug des Rauchfanges leitet die Flamme durch die gekrümmte Röhre, bis sie bei E in den Rauchfang geht. So wird das Wasser durch das hindurchgeführte Feuer erhitzt. F zeigt den Durchschnitt des in den Kessel zum Theil eingelassenen Cylinders, an dessen oberem herausragenden Ende der Vierweg-Hahn G sich befindet, um die Zulassung des Dampfes zu regeln. Die Röhre H geht von dem Hahn in den Rauchfang, in welchen der überflüssige Dampf, nachdem er den Kolben getrieben hat, geführt wird. Das obere Ende der Kolbenstange hat eine Querstange, welche mit dem Kessel und der Kolbenstange rechte Winkel bildet. Diese Stange wird in ihrer Bewegung geleitet, indem sie auf zwei perpendicularen eisernen Stäben gleitet, welche an den Seiten des Kessels befestigt sind und mit einander parallel laufen. An den Enden der Querstange befinden sich zwei Verbindungsstäbe, deren untere Enden zwei Kurbeln bewegen, welche an eine Achse befestigt sind, die sich über und unter den Kessel erstreckt und unmittelbar unter dem Mittelpunkte des Cylinders. Diese Achse hat Stützen, die auf den Beinen des Kessels ruhen, und an ihrem Ende ist das Schwungrad B angebracht. Ein großgezähntes Rad ist auf diese Achse gestellt, welches, mit der Kurbel sich drehend, andere Räder in Bewegung setzt, so wie durch diese jedes Maschinenwerk, welches die Dampfmaschine treiben soll, bewegt wird. Wie der Vierweg-Hahn in Fig. 68 dargestellt ist, strömt der Dampf aus dem Kessel durch den gekrümmten Gang G über den Kolben, während der Dampf unter demselben durch eine in der Figur nicht sichtbare Röhre geht, die in die Röhre H und dann in den Rauchfang führt. Der Kolben wird durch den über ihn eingeströmten Dampf niedergedrückt, mit einer Kraft, die von dem Uebergewichte des Dampfdrucks über den atmosphärischen herrührt. Ist er auf dem Boden des Cylinders, so kommt der Hahn in die Fig. 69 angege-

bene Stellung. Dieß wird durch die Bewegung der Kolbenstange bewirkt. Der Dampf über dem Kolben entweicht nun durch die Röhre H in den Rauchfang, während aus dem Kessel durch eine andere Röhre Dampf unter den Kolben geleitet wird. Der Druck auf den oberen Kolben überwiegt in diesem Falle nicht den atmosphärischen, während unter ihm der Druck des Dampfes aus dem Kessel wirkt. Der Kolben steigt daher aufwärts, und wenn er in dem oberen Theile des Cylinders ist, kommt der Vierweg-Hahn in die Fig. 68 angegebene Stellung und der Kolben geht wieder hinab. Bei V befindet sich ein Sicherheits-Ventil, welches mit dem Gewichte W belastet ist, das der Kraft des Dampfes angemessen ist, der in der Maschine wirken soll.

In den hier beschriebenen Maschinen wird dieses Ventil oft mit 60 bis 80 Pfund auf den Quadratzoll belastet, und da man die Kessel in Hochdruck-Maschinen der Gefahr des Zerspringens leichter ausgesetzt glaubte als diejenigen, in welchen ein niedriger Druck wirkte, so wurden größere Vorsichtsmaßregeln gegen solche Wirkungen angewendet. Es ward ein zweites Sicherheits-Ventil angebracht, das nicht der Hand des Maschinenwärters überlassen war. Er konnte auf diese Weise zwar den Druck des Dampfes vermindern, aber ihn nicht vermehren über die Gränze, die das seiner Verfügung entzogene Ventil bestimmte. Die größte Gefahr ging aus dem Umstande hervor, daß das Wasser im Kessel durch Verdampfung schneller verzehrt ward als es ersetzt werden konnte und daher unter das Niveau der Röhre fiel, in welcher sich der Feuerherd befand. Als Schutzmittel gegen die Unfälle, die daraus entstehen konnten, hatte der Kessel ein Loch in einer gewissen Tiefe, unter welche das Wasser nicht fallen durfte, und es war in demselben ein metallener Pflock mit Blei oder einem andern Metall eingelöthet, das in der Temperatur schmelzen mußte, in welcher der Kessel einer Gefahr ausgesetzt war. Wenn das Wasser so weit verzehrt war, daß es unter den Pflock fiel, so schmolz die Löthung sogleich bei der Hitze des Herdes, der Pflock fiel heraus und öffnete dem Dampfe einen Ausweg, wodurch die Gefahr des Zerspringens abgewendet ward. Auch wurde

das bereits beschriebene Quecksilber-Visier als Sicherheitsmittel angewendet. Wenn die Kraft des Dampfes die Länge der Quecksilber-Säule in der Röhre überstieg, so mußte das Quecksilber hinausgetrieben werden, und der Dampf konnte durch die Röhre entweichen. Das Wasser, das den Kessel speiste, wurde durch eine von der Maschine in Bewegung gesetzte Pumpe hineingetrieben. Um die Hitze zusammenzuhalten, wurde dieses Speisewasser in der die Röhre H umgebenden Röhre T aufbewahrt. Während der überflüssige Dampf, nachdem er den Kolben getrieben hatte, durch H seinen Weg nahm, gab er einen Theil seiner Wärme dem in der Röhre T enthaltenen Wasser ab, welches dadurch bis zu einer gewissen Temperatur erwärmt ward, ehe es durch die Pumpe in den Kessel gelangte.

Es liegt am Tage, daß eine auf diese Art eingerichtete Maschine zu allen Zwecken angewendet werden kann, zu welchen condensirende Dampfmaschinen brauchbar sind.

83.

Zwei Jahre nach der Erlangung eines Patents auf diese Maschine baute der Erfinder eine ähnliche, um mittels derselben Wagen auf Eisenbahnen fortzutreiben*) und machte da-

*) Schon 1755 schlug der Franzose Gautier vor, Fuhrwerke durch Dampfmaschinen zu bewegen, und ungefähr um dieselbe Zeit äußerte Robison gegen Watt, daß es vortheilhaft sein würde, Wagen durch Dampf zu bewegen; doch kam der Gedanke nicht zur Ausführung. Cugnot baute 1773 in Paris mehre Dampfwagen, die aber nicht ganz gelangen. Der Amerikaner Oliver Evans machte 1786 ausführliche Vorschläge, und 1795 kam Robison noch einmal auf seinen Plan zurück. — Die ersten Eisenbahnen wurden in der Gegend von Newcastle angelegt, um die Steinkohlen an den Fluß Tyne zur Verladung zu schaffen. Gegen Anfang des achtzehnten Jahrhunderts belegten die Eigenthümer der Kohlengruben zur Erleichterung der Fortschaffung die schlechten Wege mit zwei fortlaufenden Reihen von Holzstücken, um die Räder in diesen hölzernen Geleisen laufen zu lassen. Später wurden auf diesen Geleisen, die sich bald abnutzten, eiserne Schienen befestigt, welche man endlich durch gußeiserne ersetzte, die in gewissen Abständen auf Steinblöcken ruhten. Die Form der Schienen wurde später verändert und man legte zwischen dieselben und die

mit im Jahr 1804 einen gelungenen Versuch auf der Eisenbahn zu Merthyr Tydvil in Süd-Wales. Sie war dem Prinzip nach der bereits beschriebenen Maschine ähnlich. Der Cylinder hatte jedoch eine horizontale Lage, indem die Kolbenstange in der Richtung der Bahnlinie wirkte. Das Ende der Kolbenstange bewegte mittels einer Verbindungsstange Kurbeln, die auf die Achse gestellt waren, an welcher sich zwei Zahnräder befanden. Diese griffen in andere, die ihre Bewegung endlich den auf die Achse der Hinterräder des Wagens gestellten Zahnrädern mittheilten, wodurch jene Achse umgedreht wurde. Die an die Achse befestigten Hinterräder drehten sich gleichfalls um, und so lange die Last des Wagens nicht das Gewicht überstieg, welches durch die Reibung auf der Straße fortgetrieben werden konnte, bewegte sich der Wagen vorwärts. Auf jene Achse war ein Schwungrad gestellt, um die wälzende Bewegung am Ende jedes Kolbenhubes fortzusetzen. Die Vorderräder dienten zur Lenkung des Wagens. Trevithik und Vivian scheinen anfänglich die Absicht gehabt zu haben, diesen Wagen auf Heerstraßen zu gebrauchen; doch mögen sie ihren Plan aufgegeben haben, und die Erfindung wurde bloß auf der erwähnten Eisenbahn benutzt. Bei dem ersten Versuche zog die Maschine mehre, mit zehn Tonnen*) Eisen beladene Wagen auf einer Strecke von neun englischen Meilen**). Der Weg wurde, ohne frischen Wasserbedarf einzunehmen, zurückgelegt und in einer Stunde eine Strecke von fünf Meilen durchlaufen.

84.

Kapital und Kunstfertigkeit sind in England in der neuesten Zeit mit ungemeiner Thätigkeit auf die Verbesserung des Binnenverkehrs verwendet worden, und dieser wichtige Hebel der Volkswohlfahrt und der Civilisation hat dadurch eine bedeu-

---

Steinblöcke gußeiserne Lager. An die Stelle der hölzernen Wagenräder kamen gußeiserne, und endlich nahm man statt des Gußeisens Schmiedeeisen.

*) Eine Tonne ist 2240 Pfund.

**) Ungefähr $4\frac{2}{3}$ englische Meilen sind einer deutschen Meile gleich.

tende Kraft erlangt. Man erblickt nun Wirkungen, welche man, wären sie vor wenigen Jahren genannt worden, nur für Träume gehalten haben würde. Wer hätte es für möglich gehalten, eine schwere eiserne Maschine, mit mehren hundert Reisenden beladen, und mit einem langen Wagenzuge, mit einer bedeutenden Last von Wasser und Steinkohlen, auf der Straße von Manchester nach Liverpool, eine Strecke von 30 englischen Meilen in einer Stunde durchfliegen zu sehen? Dieß sieht man jetzt täglich, ja stündlich. Und doch ist die Straße, auf welcher wir dieses Wunder sehen, keineswegs die günstigste für die Leistungen solcher Maschinen. Sie hat eine wellenförmige Fläche und Unebenheiten, welche die Geschwindigkeit weit mehr vermindern, als es bei ähnlichen Ungleichheiten auf einer gewöhnlichen Heerstraße der Fall sein würde. Die hier erreichte Geschwindigkeit ist nicht weniger wunderbar als das Gewicht der fortgeschafften Lasten. Was sie in dieser Hinsicht leistet, übersteigt weit die Bedürfnisse selbst der beiden größten Handelsplätze Großbritanniens. Lasten von 50 bis 150 Tonnen werden 15 Meilen weit in einer Stunde fortgeschafft; aber die Dampfwagen sind in diesem Falle unter dem Maße ihrer Leistungskraft beladen, und wir haben einmal einen Wagenzug gesehen, der eine Last von 230 Tonnen Waaren von Liverpool nach Manchester mit einer Geschwindigkeit von einer Stunde auf zwölf Meilen fortschaffte.

Das Erstaunen, das solche Leistungen erregen, würde sich vermindern, wenn die Kunst der Dampffahrt auf Eisenbahnen schon zu ihrer Reife gelangt wäre und jene Vollkommenheit erreicht hätte, deren eine solche Kunst immer fähig ist, wenn lange Erfahrung, umfassende wissenschaftliche Kenntnisse und unermeßliche Geldmittel ihr zu Hilfe kommen. Aber dieß ist hier nicht der Fall. Die Kunst, Dampfwagen zu bauen, ist noch so wenig zu ihrer Reife gekommen, daß sie noch nicht einmal aus dem Zustande der Kindheit getreten ist. Die Leistungskraft der Dampfwagen war vor der Eröffnung der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester selbst unter Männern vom Fache so unbekannt, daß man die Fortschaffung schwerer Güter als den Hauptgegenstand der Unternehmung und als die

Hauptquelle der zu erwartenden Einkünfte betrachtete. Die unglaubliche Geschwindigkeit der Fortschaffung, die selbst bei dem ersten Versuche im Jahr 1830 erlangt wurde, wirkte auf das Publikum und selbst auf wissenschaftlich gebildete Männer wie eine neue unerwartete Erscheinung. Die Einnahme, welche die Eisenbahn seit ihrer Eröffnung von Reisenden erhielt, betrug gegen alle Erwartung beinahe doppelt so viel als die Waarenfracht. Man war in dem Baue der Dampfwagen so unerfahren, daß die Unternehmer anfänglich im Zweifel waren, ob sie große auf verschiedenen Punkten der Bahn aufgestellte Dampfmaschinen anwenden sollten, um die Wagen von Station zu Station zu ziehen, oder ob bewegliche Maschinen nützlicher wären, die Ladung auf der ganzen Bahnlinie fortzuschaffen. Als sie sich zur Anwendung beweglicher Maschinen entschlossen hatten, mußten sie bis auf diesen Augenblick mit den Nachtheilen des Mangels an jener Kenntniß kämpfen, welche allein die Erfahrung geben kann. Man hat die Maschinen stets hinsichtlich ihrer Schwere und ihrer Verhältnisse, ihrer Größe und ihrer Gestalt verändert, wie es die Erfahrungen jedes Monats an die Hand gaben. Zeigten sich Mängel, so ward ihnen abgeholfen, vorgeschlagene Verbesserungen wurden ausgeführt und überall Maschinen von solcher Leistungskraft verfertigt, daß man die älteren aufgab, nicht weil sie abgenutzt, sondern weil sie durch den raschen Fortschritt der Verbesserungen zurückgedrängt waren. Dazu kommt, daß man nur eine Art von Dampfwagen bis jetzt wirklich erprobt hat; die Leistungsfähigkeiten anderer aber müssen sich erst entwickeln, und selbst diejenige Form von Maschinen, mit welchen man so viele Versuche im Großen gemacht hat, um sie zur Vollkommenheit zu bringen, sind noch weit von diesem Punkte entfernt und haben Mängel, deren viele, wie jeder sieht, durch die Zeit und die Erfahrung Abhilfe erhalten werden. Wenn nun mit Dampfwagen, die alle Unvollkommenheiten einer jungen Erfindung haben, die der gewöhnlichen Vortheile einer vollen Anwendung der Kunstfertigkeit und Geldmittel des Landes entbehren, und nur erst in einem großen Versuche erprobt worden sind, bereits die von uns angegebenen Wirkungen erlangt wurden, was läßt

sich nicht von dieser außerordentlichen Kraft erwarten, wenn der Unternehmungsgeist des Landes entfesselt sein, wenn ein größeres Feld der Erfahrung sich geöffnet haben wird, wenn Zeit, Erfindungsgeist und Geldmittel die jetzigen Unvollkommenheiten entfernt und neue und wirksamere Prinzipien an das Licht gebracht haben werden? Dieß ist nicht bloß ein Grübeln über Möglichkeiten, sondern es ist eine Aussicht, welche uns wirkliche Fortschritte näher führen. Es werden Eisenbahnen zwischen den bedeutendsten Punkten des Verkehrs in dem vereinigten Königreiche angelegt, und Dampfwagen für Heerstraßen vorbereitet, da die Ausführbarkeit und Nützlichkeit dieser Anwendung die Dampfmaschine nicht nur durch Versuche für die Unternehmer genügend bewährt, sondern auch durch die Untersuchungen eines von dem Parlamente ernannten Ausschusses erwiesen worden sind.

Die für den Handel und die politischen Verhältnisse wichtigen Wirkungen einer solchen vermehrten Erleichterung und Geschwindigkeit in der Fortschaffung von Gütern und Personen fallen zu sehr in die Augen, als daß sie hier eine umständliche Darstellung verlangten. Ein Theil und oft ein bedeutender Theil des Preises aller Bedürfnisse oder Luxusartikel besteht in den Kosten der Fortschaffung derselben von dem Produzenten zu dem Verzehrer, und daher muß jede Verminderung oder Ersparung dieser Kosten eine Herabsetzung des Preises aller fortgeschafften Gegenstände herbeiführen, das heißt, aller Dinge, die für den Lebensunterhalt des Armen oder für den Genuß des Reichen nothwendig sind. Die wohlthätigen Wirkungen dieser Herabsetzung werden sich nicht bloß auf den Verzehrer, sondern auch auf den Erzeuger erstrecken. Durch die Verminderung der Fortschaffungskosten, sei es bei Erzeugnissen des Bodens oder des Webestuhls, wird eine geringere Menge solcher Erzeugnisse aufgewendet werden müssen, um das übrige auf den Markt zu bringen, und der Produzent wird daher einen größern Lohn für seine Arbeit haben. Der Ackerbauer wird diese wohlthätigen Folgen selbst mehr als der Manufakturist fühlen, weil bei den Erzeugnissen des Bodens die Fortschaffungskosten verhältnißmäßig größer als bei

Manufakturwaaren sind. Sind 200 Scheffel Weizen nöthig, um 400 zu ernten, und 100 mehr, um 400 zu Markte zu bringen, so wird der reine Ueberschuß nur 100 sein; wenn aber durch den Gebrauch von Dampfwagen dieselbe Getreidemenge für den Werth von 50 Scheffeln zu Markte gebracht werden kann, so wird der Ueberschuß auf 150 Scheffel steigen, und der Vortheil des Pachters oder der Pachtzins des Grundherrn muß in demselben Verhältnisse vermehrt werden. Der Ackerbauer würde jedoch nicht bloß durch einen erhöhten Ertrag des bereits angebauten Bodens gewinnen. Jede Verminderung der Fortschaffungskosten für Bodenerzeugnisse würde Veranlassung zum Anbau von minder fruchtbaren Bodenflächen geben, deren Ertrag jetzt nicht die Kosten des Anbaus und der Fortschaffung erstatten könnte. So würden Ländereien urbar gemacht werden, die jetzt wüst liegen. Es ist bekannt, daß Land von einem bestimmten Grade der Fruchtbarkeit durch vermehrte Anwendung von Geldmitteln einen höhern Ertrag gewährt; durch die Verminderung der Fortschaffungskosten aber wird eine Ersparung gemacht werden, die den Landbauer in Stand setzt, den bereits angebauten Ländereien die ersparten Geldmittel zuzuwenden und dadurch ihren jetzigen Ertrag zu erhöhen. Es würde daher eine solche Wirkung nicht nur eine Vermehrung des Umfanges der angebauten Ländereien, sondern auch einen besseren Anbau des bereits fruchtbaren Bodens zur Folge haben.

Wie man angibt, hat Großbritannien gegen eine Million Pferde, die auf verschiedene Weise zur Fortschaffung von Personen und Gütern gebraucht werden, und die Unterhaltung jedes Pferdes fodert so viel Land, als für den Lebensunterhalt von acht Menschen hinreichend wäre. Würde nun dieser Betrag von thierischer Kraft durch Dampfmaschinen ersetzt und das Fortschaffungsmittel aus dem Schoße der Erde gezogen, statt von ihrer Oberfläche genommen zu werden, so würde, wenn jene Berechnung richtig ist, eben so viel Land für den Unterhalt von Menschen frei werden, als für einen Bevölkerungszuwachs von acht Millionen hinreichend wäre, oder die Unterhaltsmittel der jetzigen Volksmenge würden um ein Drittheil des jetzigen Betrags steigen. Der Einwurf, daß es Land ge-

be, dessen Ertrag nur zum Unterhalte von Pferden dienen könne und solches Land dann nicht mehr angebaut werden würde, verdient keine Beachtung. Ob es eine beträchtliche Menge solcher Ländereien gebe, ist sehr zu bezweifeln. Wo ist der Boden, der ein Pferd nähren würde, aber nicht Ochsen oder Schafe, nicht Nahrung für Menschen geben würde? Aber gesetzt, es gebe einen kleinen Theil solcher Ländereien, so kann er denjenigen nicht übersteigen, ja nicht erreichen, der hinlänglich zur Ernährung der Anzahl von Pferden sein würde, die noch immer entweder zum Vergnügen oder in mehren Fällen, wo Dampfkraft nicht anwendbar wäre, gebraucht werden möchten. Auch ist zu beachten, daß die Verminderung des Preises der Pferde, durch das Aufhören einer umfassenden Benutzungsart derselben, den Begehr für andere Zwecke vermehren würde.

Die Verminderung der Fortschaffungskosten wird den Marktpreis der Manufakturwaaren herabsetzen und dadurch ein vermehrter Verbrauch derselben herbeigeführt werden. Diese Bemerkung gilt nicht bloß für den einheimischen, sondern auch für den auswärtigen Markt. In Beziehung auf viele Manufakturzweige genießt England bereits ein Monopol auf fremden Märkten. Die Preisverminderung, welche durch Wohlfeilheit und Leichtigkeit der Fortschaffung herbeigeführt werden muß, wird Englands Vortheile steigern. Eine nothwendige Folge wird das Bedürfniß der Vermehrung arbeitender Hände in den Manufakturen sein, und diese Vermehrung wird auf das Interesse des Ackerbaues zurückwirken, indem sie seinen Erzeugnissen einen erweiterten Markt öffnet. So verflochten und verwickelt sind die Fäden, welche das Gewebe des hochcivilisirten und künstlichen Gemeinwesens in England bilden, daß eine in irgend einem Punkte hervorgebrachte Wirkung auf die entferntesten und dem Anscheine nach gar nicht mit ihm verbundenen Theile sogleich ihren Einfluß ausübt.

Die beiden Vortheile, vermehrte Wohlfeilheit und Geschwindigkeit, werden nicht nur den bestehenden Verkehr erweitern, sondern auch neue Gegenstände des Handelsverkehrs ins Leben rufen. Wie die verminderten Fortschaffungskosten zum Anbau neuer Ländereien Veranlassung geben, so öffnen sie auch

neue Märkte für Manufakturwaaren und Erzeugnisse des Bodens. Die große Geschwindigkeit der Fortschaffung, die sich als ausführbar erwiesen hat, muß einen Handel zwischen entfernten Punkten in Beziehung auf Gegenstände öffnen, die nicht über eine gewisse Zeit hinaus brauchbar bleiben. Dahin gehören viele Arten von Gewächsen und thierischen Nahrungsmittel, die jetzt auf diejenigen Märkte beschränkt sind, welche dem Anbauer oder dem Viehzüchter nahe liegen. Die Richtigkeit dieser Bemerkung ergibt sich aus den Folgen der Dampfschifffahrt auf dem Kanal zwischen England und Irland. Die Städte des westlichen Englands sind jetzt Märkte für eine ungeheure Menge irländischer Erzeugnisse, die früher gar nicht ausgeführt werden konnten. Können die Thiere, die zur Nahrung dienen, von dem Viehzüchter den Verzehren lebendig zugeführt werden, so wird kein Markt zu entfernt sein, so bald das Thier den Weg zurückzulegen im Stande ist und die Kosten des Unterhaltes auf der Reise nicht zu groß sind. Es gibt nur einige Thiere, welche auf gewöhnlichen Straßen und auf Wagen, die von Pferden gezogen werden, sich fortschaffen lassen. Auf Eisenbahnen aber können große Lasten so schnell fortgeschafft werden, daß sich Vieh aller Art eben so leicht als wohlfeil selbst an die entferntesten Orte führen läßt.

Die moralischen und politischen Folgen einer so großen Veränderung in den Mitteln, Personen und Geisteskräfte von einem Orte zum andern zu schaffen, lassen sich kaum berechnen. Die Vereinigung von Verstand und geistiger Regsamkeit, die in einer großen Hauptstadt immer als in einem Mittelpunkte statt findet, wird sich in einem bedeutenden Umfange auf das ganze Reich erstrecken. Es wird dieselbe Wirkung eintreten, als ob alle Entfernungen vermindert wären, in dem Verhältnisse, in welchem Schnelligkeit und Wohlfeilheit der Fortschaffung zunehmen. Städte, die jetzt weit von der Hauptstadt entfernt sind, werden ihre Vorstädte, die eine Tagereise weit sind, in ihre Nähe gerückt. Mögen diejenigen, die solche Erwartungen für Träume halten, sich erinnern, wie vor nicht langer Zeit die Volksmeinung über Dampfschifffahrt urtheilte. Die Möglichkeit, den Kanal zwischen England und Irland, und die Meere,

welche die britischen Inseln bespülen, mittels der Dampfmaschine zu befahren, wurde zu einer Zeit, die vielen noch nicht über die Lebensmitte hinausgeschrittenen Zeitgenossen gegenwärtig ist, als eine Schwärmerei betrachtet. Seeleute und wissenschaftlich gebildete Männer verwarfen ungläubig solche Entwürfe und bemitleideten fast den Verstand derjenigen, die auch nur einen Augenblick sich damit beschäftigen konnten. Und doch haben wir es erlebt, daß Dampfschiffe nicht nur das britische Meer befahren, sondern längs allen europäischen Küsten steuern. Die Meere zwischen Aegypten und den britischen Besitzungen in Asien, die Meere, welche die westindischen Kolonien trennen, haben der Kraft der Dampfmaschine eben so wenig Schranken zu setzen vermocht. Die Stürme des stillen Meeres haben das Dampfschiff Enterprise nicht abgehalten, das Vorgebirge zu umsegeln und die Küsten Indiens zu erreichen. Wird der Dampf nicht als das einzige Mittel benutzt, die entferntesten Theile der Erde zu verbinden, so wird es nicht darum unterlassen, weil er zur Erreichung dieses Zweckes unzureichend wäre, sondern weil der Stoff, aus welchem er bis jetzt seine Kraft zieht, die Steinkohlen, durch örtliche und zufällige Umstände beschränkt ist.

Wir wollen nun die Mittel, durch welche die angegebenen Wirkungen hervorgebracht wurden, ins Auge fassen und zeigen, wie und in wiefern jene Mittel benutzt worden sind und welcher Verbesserungen sie noch fähig zu sein scheinen.

85.

Es ist ein sonderbarer Umstand, daß in der Geschichte dieser Erfindung viel Zeit und viel Scharfsinn vergebens aufgewendet ward, um eine Schwierigkeit zu besiegen, die sich endlich als eine eingebildete erwies. Will man begreifen, wie ein Wagenrad durch Dampf fortgetrieben werde, so nehme man an, es sei ein Zapfen an die Speiche des Rades in einiger Entfernung vom Mittelpunkte befestigt, und es wirke auf diesen Zapfen eine Kraft in der Art, daß sich das Rad umdrehe. Wenn der Felgenkranz und die Oberfläche der Straße ganz glatt wären und keine Reibung statt fände, so daß die

Felge ohne Widerstand auf der Straße fortglitte, so würde die angewendete Kraft bloß die Wirkung haben, das Rad umzudrehen, der Wagen aber stehen bleiben, während die Radfelge bei dem Umdrehen des Rades fortglitte. Wäre dagegen der Druck des Felgenkranzes auf die Straße so stark, daß zwischen beiden eine Anhaftung (Adhäsion) statt fände, die es dem Rade unmöglich machte, auf der Straße fortzugleiten unter der Wirkung der auf dasselbe angewandten Kraft, so würde die Folge sein, daß sich das Rad umdrehen müßte unter dem Einfluße der Kraft, welche es bewegte, indem sie den Wagen zum Fortrücken nöthigte, so daß der Wagen sich auf eine Strecke vorwärts bewegte, die bei jeder vollständigen Umdrehung des Rades dem Umfange desselben gleich wäre.

Es fällt in die Augen, daß diese beiden Wirkungen nur theilweise hervorgebracht werden können; die Adhäsion des Rades und der Straßenfläche kann unzulänglich sein, das Gleiten gänzlich zu verhüten, aber doch hinreichend, um zu verhindern, daß das Rad so schnell gleite als es sich umwälzt. Unter solchen Umständen würde der Wagen fortrücken und das Rad gleiten. Die fortschreitende Bewegung des Wagens während einer vollständigen Umdrehung des Rades würde gleich sein der Differenz zwischen dem vollständigen Umfange des Rades und dem Theile, durch welchen es bei einer Umdrehung fortgeglitten ist.

Als man sich mit dem Bau der Dampfwagen zu beschäftigen anfing, und noch lange Zeit nachher, glaubten die Kunstverständigen, die Adhäsion zwischen dem Felgenkranze und der Straßenfläche müsse nothwendig sehr unbedeutend sein und die fortbewegten Räder würden entweder völlig gleiten und kein Fortrücken des Wagens bewirkt werden, oder ein ansehnlicher Theil der forttreibenden Kraft würde durch theilweises Gleiten der Räder verloren gehen. Es ist sonderbar, daß es so vielen scharfsinnigen Männern, die sich mehre Jahre lang mit solchen Versuchen und Unternehmungen beschäftigten, nie einfiel, durch Versuche den wirklichen Betrag der Adhäsion zwischen den Rädern und der Straßenfläche in einem einzelnen Falle auszumitteln. Wenn sie dieß gethan hatten, so

würden wir wahrscheinlich die Dampfwagen jetzt in einem vollkommenen Zustande sehen.

Um dieser eingebildeten Schwierigkeit abzuhelfen, wollten Trevithik und Vivian die äußere Fläche der Radfelgen rauh und uneben machen, und sie zu diesem Zwecke mit Nägeln beschlagen oder nach der Quere mit Rinnen durchschneiden. Wo bedeutende Anhöhen zu befahren waren, wollten sie bei dem Hinanfahren Stifte oder Nägel hervortreten lassen, welche in die Straßenfläche eingreifen könnten.

Sieben Jahre nach der Erbauung des von Trevithik und Vivian angegebenen Dampfwagens ward ein anderer von Blenkinsop gebaut, der 1811 ein Patent für die Anwendung desselben auf Eisenbahnen erhielt. Die Eisenbahn zeigte nun nicht mehr glatte Eisenschienen, sondern eine Reihe hervorragender Zähne, einem Zahnrade ähnlich, längs der ganzen Bahnlinie. Die Räder des Dampfwagens hatten ähnliche Zähne, welche in die gezähnten Schienen eingriffen, und auf diese Weise ward eine fortschreitende Bewegung des Wagens erlangt. Eine spätere Erfindung zur Besiegung der vermeinten Schwierigkeit ward im Jahre 1812 von den Brüdern Chapman angegeben. Sie bestand in einer Kette, die sich längs der Mitte der Bahnlinie von einem Ende zum andern ausdehnte. Diese Kette lief einmal um ein mit Rinnen in der Felge versehenes Rad unter dem Mittelpunkte des Wagens, so daß, wenn dieses Rad durch die Maschine umgedreht wurde, da die Kette nicht gleiten konnte, der Wagen auf der Straße fortrückte. Man gab diese Erfindung aber bald auf, weil durch die Reibung der Kette ein ungeheurer Kraftverlust herbeigeführt wurde.

Das nächste Jahr 1813 brachte eine ungemein sinnreiche Erfindung zu demselben Zwecke, ein Paar mechanische Beine und Füße, welche, den Thierfüßen ähnlich, gehen und fortschieben sollten. Wir geben in Fig. 53 eine Ansicht dieser Maschine, A ist der auf einer Eisenbahn sich bewegende Wagen, L und L′ sind die Beine, F und F′ die Füße. Der Fuß F hat ein Gewinde bei O, welches dem Knöchel entspricht, ein anderes Gewinde ist bei K, dem Knie entspre-

chend, ein drittes bei L, das der Hüfte entspricht. Aehnliche Gewinde hat das andere Bein. Das Kniegewinde K ist an das Ende der Kolbenstange des Cylinders befestigt. Wenn der horizontale Kolben auswärts getrieben wird, so drückt das Bein L den Fuß F gegen den Boden und der Widerstand treibt den Wagen vorwärts. Indem nun der Wagen fortgeht, wird der Winkel K am Knie größer, so daß Bein und Schenkel eine gerade Stellung erhalten, und dieß dauert fort, bis der Kolben seinen Hub vollendet hat. Bei L ist ein kurzer Hebel LM, dessen Ende durch eine Schnur oder Kette mit dem Punkt S an dem Schienbeine verbunden ist. Wird der Kolben in den Cylinder gedrückt, so zieht sich das Knie K gegen die Maschine und die Schnur MS hebt den Fuß F vom Boden, den derselbe nicht wieder berührt, bis der Kolben am Ende des Cylinders angekommen ist. Wenn der Kolben wieder aus dem Cylinder getrieben wird, so wird der auf die Straße gestellte Fuß F durch die Kraft der Kolbenstange bei K zurückgedrückt; da aber die Reibung auf der Straßenfläche seine rückwärts gehende Bewegung verhindert, so bringt die Gegenwirkung die Maschine zum Fortgehen, und auf dieselbe Weise dauert die Bewegung fort. An den Schenkel ist bei N mittels eines Gewindes eine horizontale Stange NR befestigt, welche eine Leiste R bewegt. Unter der Leiste befindet sich ein Zahnrad, das in eine andere unter ihm befindliche Leiste greift. Auf diese Weise wird, wenn das Knie von der Maschine abgetrieben wird, die Leiste R rückwärts bewegt, aber das Zahnrad, das in die andere unter ihm liegende Leiste greift, wird diese in *entgegengesetzter Richtung* bewegen. Die Leiste R bewegt sich in *gleicher Richtung* mit dem Knie K, und die andere Leiste wird daher immer in *entgegengesetzter Richtung* bewegt. Die untere Leiste ist durch eine andere horizontale Stange mit dem Schenkel des Beins LF′ verbunden, gleich über dem Knie bei N′. Wird nun der Kolben in den Cylinder getrieben, so wird das Knie K′ *rückwärts* gedrückt werden, und wenn der Kolben hinausgetrieben wird, so wird das Knie K′ *vorwärts* gezogen. Es folgt daraus, daß die beiden Kniee K und K′ *abwech-*

selnd rückwärts und vorwärts gedrückt werden. Wird das Knie K′ vorwärts gezogen, so wird der Fuß F′ durch das bereits bei dem Fuße F beschriebene Mittel gehoben.

Aus dieser Beschreibung geht hervor, daß der hier angewendete Mechanismus eine von der Bewegung der Thierbeine entlehnte Erfindung ist und in jeder Hinsicht den Vorderbeinen eines Pferdes gleicht. Sie kann jedoch mehr für eine Probe eines großen Scharfsinns als für eine praktisch nützliche Vorrichtung gelten.

86.

Ungefähr um diese Zeit wurde zuerst die wichtige Thatsache ausgemittelt, daß die Adhäsion oder die Reibung der Räder mit den Schienen, auf welchen sie sich bewegen, ganz hinlänglich war, die Maschine fortzutreiben, selbst wenn sie eine große Last nach sich zog, und daß in diesem Fall die fortschreitende Bewegung ohne Gleiten der Räder würde bewirkt werden. Die Folgen dieser Thatsache machten alle Erfindungen, um die Räder auf der Straße fortzutreiben, ganz unnütz. Der Versuch, welchem man dieses Ergebniß verdankte, zeigte, daß auf einer ebenen Bahn mit ganz reinen Schienen die Adhäsion der Räder bei jedem Wetter hinlänglich war, beträchtlich beladene Wagen fortzutreiben. Es wurde zuerst durch Handarbeit ausgemittelt, wie viel Gewicht die Räder eines gewöhnlichen Wagens tragen würden, ohne auf der Bahn zu gleiten, und als man das Verhältniß zu dem Gewichte gefunden hatte, ergab sich, daß das Gewicht der Maschine eine hinlängliche Adhäsion hervorbringen würde, die nöthige Anzahl von Wagen auf einer Eisenbahn hinter sich zu ziehen *).

Im Jahre 1814 wurde von Stephenson zu Killingworth eine Maschine gebaut, die zwei Cylinder mit einem cylindrischen Kessel hatte und zwei Paar Räder durch Kurbeln bewegte, die in rechten Winkeln angebracht waren, so daß,

---

*) Man sehe Wood's schätzbares Werk „A practical treatise on railroads“ 2. Ausg. London 1832. 8.

wenn die eine in voller Thätigkeit war, die andere ruhte. Auf diese Weise war die forttreibende Kraft in steter Wirksamkeit. Die Kurbeln wurden in jener Stellung durch eine Kette ohne Ende erhalten, die um zwei gezähnte Räder unter der Maschine lief, welche an die Achse der Wagenräder befestigt waren. Die Räder waren an den Achsen befestigt und drehten sich mit ihnen.

Die in Fig. 54 gegebene Abbildung zeigt die Seiten der Maschine offen, um den inneren Mechanismus sichtbar zu machen. AB ist der cylindrische Kessel, CC sind die wirkenden Cylinder, DE die gezähnten Räder, die an der Achse der Maschinenräder befestigt und von der Kette ohne Ende umgeben sind. Diese gleich großen Räder vollenden gleichzeitig ihre Umdrehung, so daß, wenn die Kurbel F zu dem niedrigsten Punkt hinabsteigt, die Kurbel G von dem niedrigsten Punkte zu der horizontalen Stellung D hinaufgeht, und wenn die Kurbel F von dem niedrigsten Punkte zur horizontalen Stellung E hinangeht, die andere Kurbel zu dem höchsten Punkte steigt, und so weiter. Bei dieser Maschine ward eine schöne Erfindung angebracht, mittels welcher sie auf Federn von Dampf ruhte. Kleine Cylinder, die sich bei H befinden, sind an eine Seite des Kessels geschraubt, und ragen darin um einige Zolle vor. Sie haben offene Verbindung am oberen Theile mit dem Wasser oder Dampfe im Kessel. Die Kolben I bewegen sich dampfdicht in diesen Cylindern. Die Cylinder sind am Boden offen und die Kolbenstangen an den Wagen der Maschine geschraubt, über der Achse jedes Räderpaares. Wie die Maschine in der Figur dargestellt ist, wird sie von vier Kolben, zwei auf jeder Seite, getragen. Die Kolben werden von dem Wasser oder dem Dampfe im oberen Theile des Cylinders gedrückt, und da der Dampf im höchsten Grade elastisch ist, so hat die Maschine alle Vortheile, die das Hängen in Federn geben kann. Die Mängel dieser Erfindung aber gehen daraus hervor, daß, wenn der Dampf die zum Tragen der Maschine nöthige Elasticität verliert, die Kolben in die Cylinder hinabgehen, bis sie auf den Boden kommen und alle Elasticität aufhört.

In einer später von Stephenson gebauten Maschine wurde die Vorrichtung, die Räder durch eine Kette ohne Ende und durch Zahnräder zu verbinden, wieder aufgegeben. Dieselbe Wirkung ward erreicht, indem die beiden Kurbeln durch eine gerade Stange verbunden wurden. Alle Erfindungen dieser Art aber haben den großen Mangel, daß, wenn die hinteren und vorderen Räder nicht vollkommen gleiche Dimensionen haben, immer ein Gleiten und Schleppen auf der Straße statt finden muß. Das Wesen der Maschinerie verlangt, daß jedes Rad seine Umdrehung genau in derselben Zeit machen nnd dabei folglich jedesmal über eine ganz gleiche Straßenlänge gehen muß. Ist daher der Umfang der Räder ungleich, so muß das Rad von kleinerem Umfange um so viel auf der Straße geschleppt werden als es im Umfange dem größeren nachsteht, oder das größere Rad wird in entgegengesetzter Richtung geschleppt, um die Differenz auszugleichen. Da kein Mechanismus eine vollkommene Gleichheit in vier, viel weniger in sechs Rädern hervorbringen kann, so kann man annehmen, daß jenes Schleppen großentheils eine Folge des Prinzips der Maschine ist. Selbst wenn die Räder ursprünglich genau gebaut gewesen wären, können sie doch bei längerem Gebrauche nicht ganz gleichförmig bleiben.

87.

Der nächste Anstoß zu den Fortschritten der Erfindung war das große Nationalwerk, die Städte Liverpool und Manchester durch eine doppelte Eisenbahn zu verbinden. Als dieses Unternehmen begann, war noch nicht entschieden, welche bewegende Kraft auf der neuen Bahn sich als das zweckmäßigste Fortschaffungsmittel erweisen möchte. Man hatte zwischen Pferdekraft, stehenden Dampfmaschinen und Dampfwagen zu wählen; aber das erste dieser Mittel ward aus nahe liegenden Gründeu sogleich verworfen, und es blieb nur die Wahl zwischen den beiden andern.

Man kann sich der Dampfmaschine auf doppelte Weise bedienen, um Wagen auf einer Heerstraße oder auf einem Schienenwege fortzuschaffen. Bei der einen Benutzungsart

ist die Dampfmaschine stehend und zieht den Wagen oder den Wagenzug mittels einer über die ganze Bahnlinie sich ausdehnenden Kette zu sich. Die Bahn ist in diesem Falle in mehre kurze Räume getheilt, und am Ende jedes derselben steht eine Dampfmaschine. Sind die Wagen bei der Maschine angekommen, die sie zieht, so werden sie losgemacht und mit dem Ende der Kette verbunden, die von der nächsten Dampfmaschine gezogen werden soll. So wird die Reise von Maschine zu Maschine vollendet. Bei der andern Benutzungsart zieht dieselbe Maschine die Last auf dem ganzen Wege und bewegt sich mit ihr.

Als die Bahn zwischen Liverpool und Manchester der Vollendung nahe war, gaben die Unternehmer den erfahrenen Kunstverständigen Stephenson und Lock, Walker und Rastrick den Auftrag, die Eisenbahnen zu besuchen, wo praktische Belehrung über die Wirkungen der stehenden Dampfmaschinen und der Dampfwagen erwartet werden konnte, und sie erhielten von diesen Männern Berichte über die Verdienste beider Benutzungsarten der Dampfmaschine *). Das Ergebniß der Vergleichung war, daß die Anlegung einer Reihe stehender Dampfmaschinen bedeutendere Geldmittel erfodern würde, als die Erlangung einer gleichen Fortschaffungskraft durch Dampfwagen, daß die jährlichen Unterhaltungskosten bei stehenden Maschinen gleichfalls höher steigen würden, und folglich auch die Fortschaffungskosten bei diesen beträchtlicher sein müßten. Das Anlage-Kapital wurde bei Dampfwagen auf 58,000, bei stehenden Maschinen auf mehr als 121,000 Pfund Sterling, die jährlichen Ausgaben bei jenen auf 25,000, bei diesen auf 42,000 Pfund Sterling berechnet.

In Hinsicht auf Ersparniß hatten daher Dampfwagen den Vorzug; aber es traten noch andere Umstände ein, welche die Wahl der Unternehmer bestimmten. Tritt auf einem Theile der Bahnlinie, auf welcher stehende Maschinen wirken, ein Unfall ein, so entsteht auf der ganzen Linie eine Hem-

*) Die umständlichen Berechnungen findet man in Wood's angeführtem Werke.

mung. Es würde daher in jedem Theile der Bahn die wachsamste Aufmerksamkeit aller, auch noch so sehr beschäftigten Arbeiter erfoderlich sein; aber außerdem würden eben so nachtheilig, eben so hemmend für die ganze Bahn Unfälle sein, die entständen, wenn eine Kette zerrisse oder in Unordnung geriethe, oder wenn eine der stehenden Maschinen in ihrer Wirksamkeit unterbrochen würde. Bei Dampfwagen hingegen könnte ein Unfall nur den einzelnen Wagenzug treffen, den die verunglückte Maschine zog, und selbst dann ließe sich der Schwierigkeit abhelfen, wenn man auf passenden Stellen der Bahnlinie Ersatzmaschinen vorräthig hielte. Allerdings sind Unfälle bei stehenden Dampfmaschinen weniger wahrscheinlich als bei Dampfwagen; aber wenn ein Unfall eintritt, sind die verderblichen Folgen weit größer bei jenen. „Das eine System — sagte Walker in seinem Berichte — gleicht einer von Liverpool nach Manchester reichenden Kette, und wenn ein Glied derselben verunglückt, so ist das Ganze zerstört, wogegen das andere einer Anzahl kurzer und unverbundener Ketten gleicht." Wird auch eine derselben zerstört, so leiden die andern nicht darunter und der Verlust kann leicht ersetzt werden.

Die Unternehmer entschieden für den Dampfwagen, und ihre nächste Sorge war, den Erfindungsgeist ihrer Landsleute zu wecken, um sich die bestmöglichen Maschinen zu verschaffen. Es ward ein Preis von 500 Pfund Sterling auf den besten Dampfwagen ausgesetzt, und eine Zeit bestimmt, wo die Arbeiten der Preisbewerber einer öffentlichen Prüfung unterworfen werden sollten. Die Bedingungen für die Bewerber waren, daß die Maschine keinen Rauch machen, daß der Dampfdruck nicht über 50 Pfund auf den Quadratzoll betragen, daß die Maschine wenigstens das Dreifache ihres Gewichts und zwar nicht weniger als 10 englische Meilen in einer Stunde ziehen, auf Federn stehen und nicht über 15 Fuß hoch sein sollte. Auch wurden Vorsichtsmaßregeln gegen das Zerspringen des Kessels angegeben und andere Punkte bestimmt, deren Erwähnung hier überflüssig sein würde. Die Preisbewerbung ward im März 1829 eröffnet und im October desselben Jahres sollte die Prüfung erfolgen. Es kamen drei

Wagen zur Bewerbung, der Rocket von Stephenson, der Sanspareil von Hackworth, und der Novelty von Braithwaite und Ericson. Der Rocket gewann den Preis. Zur Prüfung ward eine Bahnlinie, ungefähr zwei englische Meilen lang, bei Rainhill zwischen Liverpool und Manchester bestimmt. Die Entfernung zwischen den beiden Stationen war anderthalb Meilen, und die Maschine mußte diese Entfernung zehnmal rückwärts und vorwärts zurücklegen, folglich überhaupt eine Reise von 30 englischen Meilen machen. Der Rocket legte die Reise zweimal zurück, zuerst in 2 Stunden, 14 Minuten, 8 Sekunden, dann in 2 Stunden, 6 Minuten, 49 Sekunden. Die Schnelligkeit des Dampfwagens war verschieden auf verschiedenen Theilen der Bahn, die größte Geschwindigkeit der Bewegung etwas über 29 englische Meilen, die geringste $11\frac{1}{2}$ Meilen in einer Stunde. Die durchschnittliche Geschwindigkeit auf der einen Reise war $13\frac{4}{10}$ Meilen, auf der anderen $14\frac{2}{20}$ Meilen in einer Stunde. Der Rocket war der einzige Dampfwagen, der die verlangte Reise zurücklegte, die anderen wurden durch Unfälle in ihren Versuchen gehemmt.

88.

Der große Zweck, der bei dem Bau dieser Maschinen erreicht werden sollte, war, hinlängliche Leichtigkeit mit der größtmöglichen Hitzkraft zu vereinigen. Das Feuer wirkt auf doppelte Weise auf das Wasser, erstens durch seine strahlende Wärme, zweitens durch den Strom heißer Luft, den der Kanal im Herd durch das Feuer treibt und der zuletzt in den Rauchfang übergeht. Zur Erreichung dieses Zweckes ist es nöthig, diesen beiden Wärmequellen die größtmögliche Ausdehnung der mit dem Wasser in Berührung stehenden Oberfläche auszusetzen. Dieß geschah auf eine bewundrungswürdige Weise durch Stephensons Rocket.

Die in Fig. 55 dargestellte Maschine steht auf vier Rädern, die Hauptlast ruht aber auf einem Paare, das durch die Maschine getrieben wird. Der Kessel ist ein 6 Fuß langer Cylinder mit flachen Enden. Der Rauchfang steigt an

dem einen Ende herauf, und an dem anderen ist ein viereckiger Kasten B angebracht, auf dessen Boden sich der Rost des Feuerherdes befindet. Dieser Kasten besteht aus zwei eisernen, in einander gestellten Behältern, zwischen welchen sich ein etwa drei Zoll breiter Raum befindet. Der Kasten ist 3 Fuß lang, 2 Fuß breit und 3 Fuß tief. Der äußere Behälter ist mit dem unteren Theile des Kessels durch eine mit C bezeichnete Röhre verbunden; am oberen Ende aber steht er durch die Röhre D mit dem oberen Theile des Kessels in Verbindung. Wird daher Wasser in den Kessel gelassen, so fließt es durch die Röhre C in den Raum, welcher den Herd oder den Feuerkasten umgibt, und steigt darin zu derselben Höhe, die es im Kessel hat. Arbeitet die Maschine, so bleibt der Kessel ungefähr halb mit Wasser gefüllt, und daher ist der Raum um den Herd ganz angefüllt. Der Dampf, der in dem Wasser erzeugt wird, das den Feuerkasten umgibt, entweicht durch die Röhre D und geht in den oberen Theil des Kessels. Ein Längendurchschnitt der Maschine nach rechten Winkeln genommen, ist Fig. 56. Durch den untern Theil des Kessels gehen mehre kupferne Röhren von geringem Umfange, die an einem Ende mit dem Feuerkasten, an dem anderen mit dem Rauchfange in Verbindung stehen und der heißen Luft von dem Herde einen Ausgang nach dem Rauchfange verschaffen. Die brennenden Steinkohlen auf dem Roste verbreiten ihre Wärme durch Ausstrahlung und wirken auf diese Weise auf die ganze Oberfläche des den Feuerkasten umgebenden Gehäuses, wodurch die Temperatur der dünnen, in dem Gehäuse enthaltenen Wasserschicht erhöht wird. Das erhitzte Wasser steigt und geht in den Kessel über, so daß ein beständiger Umlauf von erhitztem Wasser unterhalten wird und das Wasser im Kessel beinahe in derselben Temperatur bleiben muß, wie das Wasser in dem Gehäuse. Die Luft, welche durch die brennenden Kohlen strömt und den Feuerkasten füllt, wird mittels des Zuges durch die kupfernen Röhren geführt, welche sich in dem unteren Theile des Kessels befinden, und da diese Röhren auf allen Seiten von dem Kesselwasser umgeben sind, so theilt diese Luft ihre Wärme durch die Röhren

dem Wasser mit. Sie geht endlich in den Rauchfang über und wird durch den Luftzug ausgeführt. Die Wirkungskraft des Feuerherdes ist nothwendig bedingt durch die Kraft des Zuges im Rauchfange, und um diese zu vermehren und zu gleicher Zeit den überflüssigen Dampf abzuführen, nachdem er den Kolben getrieben hat, wird derselbe durch die Röhre L hinausgelassen, welche aus dem Cylinder in den Rauchfang geht und durch eine aufwärts gerichtete Mündung entweicht. Dieses schnelle Entströmen und die Leichtigkeit des Dampfes verursachen einen starkeu Luftstrom im Rauchfange, wodurch der Zug auf dem Herde verstärkt wird. In Fig. 56 sehen wir die Rosteisen im unteren Theile des Feuerkastens bei F. Die Maschine hat zwei Cylinder, von welchen jeder ein Rad bewegt. Man sieht in Fig. 55 nur einen, weil die Maschine den anderen verbirgt. Die Speichen, welche von diesen Cylindern getrieben werden, stehen in rechten Winkeln an den Rädern. Die Räder befinden sich an einer gemeinschaftlichen Achse, mit welcher sie sich umdrehen.

Die Wasseroberfläche, welche den Feuerkasten umgibt und der Wirkung der strahlenden Wärme ausgesetzt ist, hat in dieser Maschine 20 Quadratfuß, die von der Oberfläche von 6 Quadratfuß brennender Steinkohlen auf dem Rost Wärme erhält. Die der Wirkung der warmen Luft ausgesetzte Oberfläche beträgt 118 Quadratfuß. Die Maschine zog einen andern Wagen nach sich, der Wasser und entschwefelte Kohlen (Cokes) führte.

89.

Hackworth's Sanspareil ist Fig. 57 und in einem horizontalen Durchschnitte Fig. 58 dargestellt. Der Zug des Feuerherdes wird auf dieselbe Weise, wie bei dem Rocket bewirkt, indem der überflüssige Dampf aus dem Cylinder durch den Rauchfang ausgetrieben wird. Der Kessel aber hat eine eigenthümliche Einrichtung. Eine gekrümmte Röhre geht durch den Kessel, ungefähr wie in der von uns beschriebenen älteren Maschine von Trevithik und Vivian (siehe 82). In der Horizontal-Section Fig. 58 ist D die Oeff-

nung des Herds am Ende des Kessels, bei dem Rauchfange. Die Rosteisen sieht man bei A. Eine gekrümmte Röhre, die durch den Kessel geht und in dem Rauchfange endigt, ist mit B bezeichnet. Die Richtung des Zuges zeigt ein Pfeil an. C ist ein Durchschnitt des Rauchfanges. Die Cylinder stehen wie im Rocket auf beiden Seiten des Kessels. Jeder bewegt ein einzelnes Rad, indem er auf die in rechten Winkeln gegen einander stehenden Speichen wirkt. Die Röhre, in welcher sich der Rost und der Feuerkanal befinden, nimmt im Durchmesser ab, indem sie sich dem Rauchfange nähert. An der Mündung, wo der Rost liegt, ist der Durchmesser zwei Fuß, und wird nach und nach kleiner, bis er am Rauchfange nur 15 Zoll beträgt. Die Rosteisen gehen 5 Fuß weit in die Röhre. Die der strahlenden Wärme des Feuers ausgesetzte Oberfläche des Wassers beträgt 16 Quadratfuß, und die der Wirkung der erwärmten Luft und der Flamme ausgesetzte gegen 75 Quadratfuß. Die Schicht des brennenden Feuers, welche Hitze ausstrahlt, beträgt 10 Quadratfuß.

90.

Der Novelty ist Fig. 59 dargestellt. Einen Durchschnitt des Dampferzeugers und des Kessels zeigt Fig. 60. Die entsprechenden Theile sind in beiden mit denselben Buchstaben bezeichnet. A ist der Recipient oder Dampferzeuger, welcher den für die Wirkung der Maschine erfoderlichen Dampf enthält. Er steht in Verbindung mit dem untern Dampferzeuger B, welcher in horizontaler Richtung nach der ganzen Länge der Maschine läuft. In dem Dampferzeuger A befindet sich der Herd F, mit der Röhre C verbunden, die in dem Dampferzeuger hinaufgeht und am Ende Schieber hat, welche die Luft ausschließen und nur geöffnet werden, um Steinkohlen auf den Rost F zu bringen. Unter dem Roste ist der Herd nicht offen, wie gewöhnlich, sondern durch die Röhre E mit einem Blasebalg D verbunden, der durch die Maschine in Thätigkeit gesetzt wird und durch die Röhre E einen beständigen Luftstrom auf F gehen läßt, um das Feuer in einer lebhaften Flamme zu halten. Die auf dem Herde enthaltene hei=

ße Luft wird durch die kleine gekrümmte Röhre e (Fig. 60) ausgetrieben, welche sich wurmförmig durch den horizontalen Dampferzeuger zieht und, nach und nach immer mehr verkleinert, endlich in den Rauchfang G geht. Bei dem Durchgange durch diese Röhre theilt die Luft ihre Hitze dem die Röhre umgebenden Wasser mit, und hat eine bedeutend verminderte Temperatur, wenn sie in den Rauchfang entweicht. Der Cylinder K bewegt mittels einer Kurbel ein Räderpaar, und wenn es nothwendig ist, wird das andere Paar damit verbunden. Die Oberfläche der brennenden Kohlen hat in dieser Maschine weniger als 2 Quadratfuß. Die der strahlenden Wärme ausgesetzte Oberfläche hat $9\frac{1}{2}$ Quadratfuß, und die Oberfläche des der heißen Luft ausgesetzten Wassers gegen 33 Quadratfuß.

Die Vorzüge des Rocket liegen hauptsächlich darin, daß eine größere Oberfläche des Wassers der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist. Bei einer geringeren Ausdehnung des Feuerherdes als der Sanspareil hat, in dem Verhältniß von 3 zu 5, setzt er eine größere Wasser-Oberfläche der strahlenden Wärme aus, und zwar in dem Verhältnisse von 4 zu 3, und eine größere Oberfläche des Wassers der erhitzten Luft, in dem Verhältnisse von mehr als 3 zu 2. Man fand, daß der Rocket, in Vergleichung mit dem Sanspareil, bei der Verdampfung einer gegebenen Wassermenge in dem Verhältnisse von 11 zu 28 Brennstoff verzehrte. Den Vorschlag, die heiße Luft mittels Röhren durch das Wasser in den Rauchfang zu leiten, machte Booth*), der Kassirer der Aktiengesellschaft, welche die Eisenbahn von Liverpool nach Manchester angelegt hat, und nichts hat mehr zu der Wirksamkeit der seitdem gebrauchten Maschine beigetragen als diese Verbesserung.

---

*) Er erhielt nur einen Theil des dem Rocket zuerkannten Preises, hat aber sonst keinen Antheil an dem Gewinn der Dampfmaschinen-Fabrik gehabt.

91.

Der große Zweck, den die Kessel in diesen Maschinen erreichen sollen, besteht darin, eine geringe Wassermenge mittels einer geringen Menge von Brennstoff, der zu einer lebhaften Flamme angefacht wird, in einer sehr hohen Temperatur zu erhalten. Dieß kann nur bewirkt werden, wenn man erstens Kessel, Feuerherd und Feuerkanäle so einrichtet, daß das Wasser in einer beständigen Berührung mit einer größtmöglichen Oberfläche sei, von welcher jeder Theil entweder unmittelbar der strahlenden Wärme des Feuers, oder mittelbar der Luft ausgesetzt ist, die durch das Feuer gegangen ist und endlich in den Rauchfang entweicht; und wenn zweitens ein so starker Zug auf dem Herde erhalten wird, daß durch Verbrennung eine Wärmemenge aus den Steinkohlen gezogen wird, welche hinlänglich ist, das Wasser in der erfoderlichen Temperatur zu erhalten und den Dampf mit hinreichender Geschwindigkeit zu erzeugen. Zur Erreichung dieser Zwecke muß der Kasten, welcher den Herd enthält, ganz von Wasser umgeben und unter der Höhe des Wasserstandes in dem Kessel sein. Die der strahlenden Wärme ausgesetzte Oberfläche sollte so groß sein, als es mit der Größe der ganzen Maschine vereinbar ist. Die Vorzüge, die der Rocket in diesen Hinsichten vor anderen Maschinen besaß, treten bei näherer Betrachtung hervor. Dann ist es nothwendig, daß die Wärme, welche von der durch die brennenden Kohlen ziehenden Luft aufgenommen wird, dem Wasser mitgetheilt werde, ehe sie in den Rauchfang entweicht. Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, so muß, um dieß zu bewirken, die Luft in den Zügen des Herdes in einer größtmöglichen Oberfläche der Berührung mit dem Wasser ausgesetzt werden. Keine Vorrichtung kann zu diesem Zwecke unpassender sein, als eine oder zwei durch den Kessel laufende große Röhren, wie in den ältesten Dampfwagen. Die durch den Mittelpunkt dieser Röhren ziehende Luft war nicht in Berührung mit ihrer Oberfläche und kam folglich fast in derselben Temperatur, die sie bei dem Ausgange aus dem Feuer gehabt hatte, in den Rauchfang.

Nur derjenige Theil der Luft, der zunächst an der Oberfläche der Röhre hinstreifte, theilte dem Wasser seine Wärme mit.

Es gibt verschiedene Mittel, die Oberfläche des Wassers auszudehnen, die mit einer gegebenen, dasselbe durchziehenden Luftmenge in Berührung steht. Dieß würde geschehen, wenn man die Luft zwischen neben einander gestellten Platten durchziehen ließe, so daß der Luftstrom in dünne Schichten getheilt würde und Wasserschichten zwischen sich hätte, oder man könnte die Luft zwischen Röhren durchziehen lassen, die einen geringen Unterschied der Durchmesser hätten, indem das Wasser durch eine innere Röhre ginge und zugleich mit der äußeren Oberfläche der äußeren Röhre in Berührung wäre. Eine solche Vorrichtung würde, dem Princip nach, Watt's Jacke (siehe 47) ähnlich sein, oder dem Condensator in Cartwright's bereits (siehe 79) beschriebener Maschine. Bei der Leichtigkeit, kleine Röhren zu verfertigen und sie in dem Kessel anzubringen, würde diese Vorrichtung wohl die ausführbarste sein, wiewohl die Gestalt einer Röhre, geometrisch betrachtet, nichts weniger als günstig ist, eine in derselben enthaltene Flüssigkeit ihrer Oberfläche auszusetzen. Die Luft, die aus dem Feuerbehältnisse strömt, und bei dem Durchgange durch den Kessel in einer großen Anzahl kleiner Röhren sich vertheilt, kann ihren Ueberfluß an Wärme dem Wasser mittheilen, ehe sie in den Rauchfang geht. Dieß ist alles, was der schärfste Erfindungsgeist bewirken kann. Der Rocket hatte 25 Röhren, jede von drei Zoll Durchmesser, und das Princip ist seitdem in einem noch weiteren Umfange angewendet worden.

Wenn der Luft, ehe sie den Rauchfang erreicht, ein großer Theil ihrer Wärme entzogen wird, so kann dieß eine Folge haben, die auf den ersten Blick mit der größten praktischen Schwierigkeit verbunden zu sein scheint; der Rauchfang würde seinen Zug verlieren. Dieser Schwierigkeit aber ward abgeholfen, indem man den überflüssigen, aus dem Cylinder entweichenden Dampf benutzte, einen Zug in dem Rauchfange hervorzubringen. Dieser Dampf wurde durch aufwärts gerichtete Röhren mit solcher Gewalt getrieben, daß ein hinlänglicher Luftzug zum Anfachen des Herdfeuers entstand.

Man wird bemerken, daß der Luftzug in dem Dampfwagen Novelty nach einem ganz verschiedenen Princip hervorgebracht wird, nämlich durch einen von der Maschine bewegten Blasebalg. Es fragt sich in Beziehung auf diese beiden verschiedenen Vorrichtungen, ob mehr Kraft verloren gehe, wenn man den Dampf durch eine Röhre treiben läßt, wie bei dem Rocket, oder wenn man einen Blasebalg anwendet. Die Kraft, welche erfoderlich ist, den Dampf durch die Röhre zu treiben, muß durch die Kolbenbewegung gegeben werden, und sie muß daher die zum Treiben der Maschine nöthige Kraft um eben so viel vermindern. Auf der andern Seite aber muß die zur Bewegung des Blasebalgs im Novelty erfoderliche Kraft von der für die Maschine nöthigen gleichfalls abgezogen werden. Es hat sich ergeben, daß die erste Vorrichtung die wirksamste und sparsamste ist.

Man wird begreifen, wie wichtig diese Einzelheiten sind, wenn man bedenkt, daß die Geschwindigkeit, mit welcher ein Dampfwagen sich bewegen kann, keine andere Gränze hat, als die Fähigkeit, in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Dampfmenge zu erzeugen. Jeder Kolbenhub bewirkt eine Umdrehung der Räder und verbraucht zwei Cylinder voll Dampf, folglich entspricht ein Cylinder voll Dampf einer bestimmten Länge der befahrenen Straße. Die Aufgabe, eine Maschine zu bauen, die einer schnellen Bewegung fähig ist, wird daher gelöst sein, wenn ein schneller und reichlicher Zufluß von Wärme hervorgebracht und diese Wärme dem Wasser schnell und wirksam mitgetheilt werden kann.

Die Vorrichtung, den Herdkanal in Röhren abzutheilen, wurde von Stephenson nach der Erbauung des Rocket noch viel weiter ausgedehnt, und der Grundsatz lag in der That so sehr auf der Hand, daß man nicht einsieht, warum nicht gleich anfänglich Röhren von geringerem Durchmesser als drei Zoll gebraucht wurden. In den seitdem gebauten Maschinen ist die Zahl der Röhren verschieden von 90 bis 120 und der Durchmesser auf zwei Zoll und weniger herabgesetzt, und man hat in einigen Fällen sogar 150 Röhren, jede von 1½ Zoll im Durchmesser, angewendet. In dem Dampfwagen Me=

teor sind 20 Quadratfuß der Wärmestrahlung ausgesetzt und 139 Fuß der Berührung der heißen Luft, in dem Arrow (Pfeil) 20 Quadratfuß der Wärmestrahlung und 145 der Berührung der heißen Luft. Die auf diese Weise erlangte Ersparung an Brennstoff zeigt folgende Zusammenstellung, welche angibt, wie viel entschwefelte Steinkohlen erfoderlich waren, um auf jeder der genannten vier Maschinen eine Tonne Last eine englische Meile weit fortzuschaffen, so wie das Verhältniß der Geschwindigkeit.

Maschinen.	Geschwindigkeit in Meilen auf die Stunde.	Kohlenverbrauch in Pfunden für die Tonne auf eine Meile.
Rocket	14	2,41
Sanspareil	15	2,47
Phönix	12	1,42
Arrow	12	1,25

92.

Seit der Eröffnung der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester sind die Dampfwagen immer mehr verbessert worden. Kaum verging ein Monat, ohne daß eine Veränderung in Einzelheiten angegeben ward, um Brennstoff zu ersparen, die Dampferzeugung zu beschleunigen, die Abnutzung der Maschine zu vermindern, die Stärke der verschiedenen Theile zu vermehren. Dieß hat die Folge gehabt, daß die von uns genannten Maschinen und andere ähnlicher Art, ohne daß sie unbrauchbar oder abgenutzt gewesen wären, beseitigt worden sind, um wirksameren Platz zu machen. Der Umstand, daß in dem Rocket und ähnlichen Maschinen die Cylinder der Atmosphäre ausgesetzt waren, verursachte eine bedeutende Wärmeverschwendung, und es wurde daher beschlossen, sie von der Außenseite des Kessels zu entfernen und sie in ein Gehäuse unmittelbar unter dem Rauchfange zu stellen. Dieses Behältniß wurde durch die Nähe des Kessels und noch mehr durch die heiße Luft, die

stets aus den Röhren einströmte, erwärmt. Diese Veränderung machte eine andere nothwendig, welche die Wirksamkeit der Maschine verbesserte. Bei den älteren Maschinen wurde die Bewegung des Kolbens dem Rade durch eine Verbindungsstange mitgetheilt, welche an eine der Speichen auf der äußeren Seite des Rades befestigt war, wie Fig. 55 zeigt. Da nun bei der oben erwähnten Veränderung die Cylinder ihren Platz zwischen den Rädern unter dem Rauchfange erhielten, so war jene Bewegungsart nicht mehr anwendbar, und man hielt es für besser, die Kolbenstangen mit zwei Kurbeln zu verbinden, die in rechten Winkeln auf die Achsen der großen Räder gestellt waren. Es ergab sich, daß die Bewegung der Maschine dadurch gleichförmiger ward und weniger Spannung statt fand, als bei der früheren Vorrichtung. Dagegen wurde durch die Anwendung einer Kurbel-Achse ein bedeutender Nachtheil herbeigeführt, da die aus einer solchen Form der Achse nothwendig entstehende Schwäche dieser Theile nur durch große Dicke und Schwere des Metalles ausgeglichen werden konnte, und selbst diese Vorsichtsmaßregel verhütet nicht immer das Zerbrechen solcher Achsen in den Winkeln, welche die Kurbeln bilden. Man hält dessen ungeachtet die Vortheile dieser Vorrichtung im Ganzen für überwiegend.

Die besten jetzt gebräuchlichen Maschinen haben zwei Sicherheits-Ventile, von welchen nur eins der Verfügung der Aufsehers überlassen ist. Die Hitze wird, da die Röhren kleiner und zahlreicher als in den älteren Maschinen sind, der Luft vollkommen entzogen, ehe sie in den Rauchfang tritt. Bei dem geringern Umfange der Röhren ist ein starker Luftzug noch nothwendiger als früher, und wird dadurch bewirkt, daß der Dampf, der die Kolben bewegt hat, durch eine verengte Röhren-Mündung in den Rauchfang getrieben wird. Diese Vorrichtung läßt sich in der Art regeln, daß man den Luftzug nach Belieben verstärken kann.

Einer der besten jetzt gebräuchlichen Dampfwagen ist in Fig. 61 dargestellt. A ist der cylindrische Kessel, durch dessen untere Hälfte Röhren laufen, wie bei dem R o c k e t. Es sind deren gewöhnlich 80 bis 100, von ungefähr 1½ Zoll im Durch-

messer. Der Kessel ist gegen 7 Fuß lang. Das Feuerbehältniß befindet sich am Ende desselben, bei F, wie bei dem Rocket, und ist auf ähnliche Weise eingerichtet. Die Cylinder sind in einem Behältnisse am andern Ende, unmittelbar unter dem Rauchfange. Die Kolbenstangen werden durch Lenker in ihrer horizontalen Lage unterstützt und es gehen von ihnen Verbindungsstangen unter dem Wagen zu den beiden Kurbeln, die auf die Achse der großen Räder gestellt sind. Die Wirkungen irgend einer Ungleichheit auf der Bahn werden durch die Federn aufgehoben, auf welchen die Maschine ruht, da diese Federn unter der Achse der großen Räder und über der Achse der kleinen sind. Der Dampf wird den Cylindern mittels der gewöhnlichen Schieb-Ventile zugeführt und entzogen, die von einem auf die Achse der großen Wagenräder gestellten excentrischen Rade gesteuert werden. Die Bewegung wird von diesem excentrischen Rade dem Ventile durch Schiebstangen mitgetheilt. Am Ende der Maschine in der Nähe des Feuerherdes F hat der Maschinenwärter seinen Platz. Zwei Hebel L ragen am Ende hervor. Sie sind mit den Ventilen durch Stangen verbunden, um die Maschine leiten und ihre Bewegung regeln zu können. Die Räder dieser Maschinen sind gewöhnlich von Holz und mit Eisen beschlagen; in der neuesten Zeit aber hat Stephenson in einigen Fällen eiserne Räder mit hohlen Speichen gewählt. Die Maschine zieht einen Wagen nach sich, der Wasser und Kohlen führt. Bei einer leichten Ladung macht sie die Reise zwischen Liverpool und Manchester, ohne frisches Wasser einzunehmen. Bei schweren Ladungen wird gewöhnlich auf der Mitte der Bahnlinie Wasser eingenommen.

93.

Ueberblicken wir alles, was wir bis jetzt gesagt haben, so ergibt sich, daß die Wirksamkeit von Dampfwagen auf Eisenbahnen hauptsächlich von drei Umständen abhängt: 1. von der unbeschränkten Wirkungskraft des Zuges auf dem Feuerplatze, der durch das Forttreiben des überflüssigen Dampfes in den Rauchfang hervorgebracht wird; 2. von der unbeschränkten Thätigkeit der Vorrichtung, mittels welcher der vom

Herde entweichenden Luft ihre Wärme durch die von Booth angegebenen, durch den Kessel laufenden Röhren entzogen wird; 3. von der Vorrichtung, die Cylinder durch Aufstellung unter dem Rauchfange warm zu halten*). Dieß sind, minder bedeutende Einzelheiten abgerechnet, die wichtigsten Verbesserungen, welche kein Maschinenbauer aus den Augen setzen sollte.

Die nach und nach erfolgte Einführung dieser Verbesserungen der Dampfwagen hat eine verhältnißmäßige Erhöhung ihrer Leistungskraft und eine größere Ersparung an Brennstoff zur Folge gehabt. Sie sind jetzt auf einen Punkt gekommen, der die ersten Erwartungen der hoffnungslustigsten Unternehmer eben so sehr übersteigt, als er hinter der Vollkommenheit, welche diese wundervollen Maschinen noch erreichen können, gewiß zurückbleibt.

Beobachtungen, die im Frühling 1832 auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester gemacht wurden, lieferten Ergebnisse, welche, ungeachtet der seitdem eingeführten Verbesserungen der Maschinen, im Wesentlichen noch dieselben sind. Der Dampfwagen Victory, 8 Tonnen und 2 Centner schwer, zog 20 Güterwagen mit 92 Tonnen 19 Centner Ladung, auf dem Wege von Liverpool nach Manchester in 1 Stunde 34 Minuten 45 Sekunden. Auf einer geneigten Ebene von 1 in 96 Fuß Steigung, die sich $1\frac{1}{2}$ Meilen weit erstreckt, wurde der Dampfwagen von einem andern, dem Samson, unterstützt, und die Fahrt aufwärts ward in 9 Minuten vollendet. Es wurden auf der ganzen Fahrt 920 Pfund Steinkohlen verbraucht, was ein Verhältniß von $\frac{1}{3}$ Pfund für jede Tonne auf die englische Meile gab. Auf ebener Bahn wurden 18 Meilen in 1 Stunde zurückgelegt, bei 4 Fuß Fall auf 1 Meile $21\frac{1}{2}$ Meilen in einer Stunde, bei der Steigung der Bahn von 8 Fuß auf eine Meile $17\frac{5}{8}$ Meilen in einer Stunde. Der Dampfwagen Samson, 10 Tonnen 2 Centner schwer, mit 50 Pfund

*) Robert Stephenson, ein geschickter und erfahrner Dampfwagen-Bauer, legt großes Gewicht auf diese Bedingung. Andere haben sie in der neuesten Zeit aufgegeben, um die damit nothwendig verbundene Kurbel-Achse entbehren zu können (siehe 92).

Dampfdruck und 130 Röhren im Feuerplatze, zog 50 mit Kaufmansgütern von 150 Tonnen Nettogewicht beladene Wagen, einschließlich der Wagen und Vorräthe, überhaupt ein Gewicht von 223 Tonnen 6 Centner. Diese Reise ward in 2 Stunden und 40 Minuten, den Aufenthalt unterwegs mitgerechnet, zurückgelegt; auf ebener Bahn 12 englische Meilen in einer Stunde, bei einem Fall von 6 Fuß auf eine Meile 16 Meilen in einer Stunde, bei 8 Fuß Steigung auf eine Meile 9 Meilen in einer Stunde. Es wurden 1762 Pfund Kohlen verbraucht, oder $\frac{1}{4}$ Pfund für die Tonne auf die Meile.

94.

Aus den mitgetheilten Beobachtungen geht hervor, daß ein Dampfwagen, der in gutem Stande ist und seine volle Ladung hat, mit einem Aufwande an Feuerungsmitteln, der etwa 8 Loth entschwefelte Kohlen für die Tonne auf eine Meile beträgt, Lasten fortschaffen kann. Zur Besorgung der Maschine sind bloß ein Maschinenwärter und ein Heizbursche nöthig. Es ist jedoch zu bemerken, daß in der Praxis die Maschinen selten ihre volle Ladung erhalten, und werden geringere Ladungen fortgeschafft, so müssen aus nahe liegenden Gründen die verhältnißmäßigen Kosten größer sein. Der wirkliche Aufwand an Feuerungsmitteln auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester kann auf ungefähr ein halbes Pfund Kohlen für die Tonne auf jede englische Meile angeschlagen werden.

95.

Wir haben die Leistungskraft dieser Maschinen entwickelt, und müssen nun auch einige der Mängel angeben, an welchen sie leiden. Die großen Anlagekosten und der bedeutende Aufwand für die Ausbesserung der Maschinen haben die Hilfsmittel der Unternehmer sehr angegriffen. Einer der besten neueren Dampfwagen kostete gegen 800 Pfund Sterling. Es läßt sich hoffen, daß durch den aufgeregten Wetteifer, durch die aus vielfacher Uebung hervorgehende Leichtigkeit künftig eine Herabsetzung der Kosten bewirkt werden könnte. Weit bedeutender aber als das Anlage-Kapital ist der Aufwand, den die

Abnutzung der Maschinen veranlaßt, und das Zerbrechen derjenigen Theile, die der größten Spannung ausgesetzt sind, hat Ausgaben veranlaßt, welche die Berechnungen der Unternehmer weit überschritten haben. Dieser Aufwand muß zwar zum Theil dem Umstande zugeschrieben werden, daß die Maschinen in den Verhältnissen und der Anordnung ihrer Theile noch nicht den Grad von Vollkommenheit erreicht haben, dessen sie fähig sind und den Erfahrung allein erreichen kann, aber es gibt doch einige Mängel, die in die Augen fallen. Die Enden der Kessel sind flach und von Eisen, wie der ganze Kessel selbst. Die durch den Kessel laufenden Röhren waren bis auf die neueste Zeit von Kupfer und wasserdicht in die Enden des Kessels eingelassen. Ist der Kessel geheizt, so werden die Röhren in einem höheren Grade ausgedehnt, als die übrigen Theile des Kessels, und daher häufig locker an den Enden, wodurch sie leck werden oder sich krümmen. Die Nothwendigkeit, die Röhren herauszunehmen und wieder zu befestigen, verursächt stete Ausgaben. Man wird sich erinnern, daß sich der Feuerherd an dem einen Ende des Kessels unmittelbar unter der Oeffnung der Röhren befindet. Der starke, durch das Feuer gehende Luftzug führt Kohlenasche hinweg und treibt sie heftig in die Röhren, besonders die unteren, die daher sehr bald verderben, da die Kohlenasche ihre innere Oberfläche angreift. Nach kurzer Zeit müssen einzelne Röhren durch neue ersetzt werden, und wird dieß versäumt, so zerspringen sie nicht selten. Nach einer gewissen Zeit müssen die Maschinen ganz neue Röhren erhalten, was einen Aufwand von beinahe 70 Pfund Sterling macht, den Verkaufswerth der alten eingerechnet. Diese Abnutzung der Röhren möchte sich vermeiden lassen, wenn der Herd niedriger und weiter entfernt von ihren Oeffnungen angelegt würde, oder noch besser, wenn man ein Metallbehältniß, das sich mit Wasser anfüllen ließe, zwischen dem Herd und den der Kohlenasche am meisten ausgesetzten Röhren anbrächte. Die ungleiche Ausdehnung der Röhren und des Kessels unter dem Einflusse der Hitze möchte ein unheilbarer Mangel sein, wenn man die jetzige Form der Maschine beibehalten will. Könnte man den Herd und den Rauchfang an demselben Ende des Kessels anbringen,

so daß die Röhren eine gekrümmte Gestalt erhielten, so würde die ungleiche Ausdehnung keine nachtheilige Wirkung haben, aber die Reinigung der Röhren schwierig sein, wenn sie wie jetzt der Kohlenasche ausgesetzt wären. Eine andere Ursache des Aufwands ist die Abnutzung des Kessel-Endes, das der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist und daher stets ausgeflickt, oft erneuert werden muß.

Eine bedeutende Verbesserung ist in der neuesten Zeit eingeführt worden, indem man statt der kupfernen Röhren messingene genommen hat. Was auch die Ursache sein möge, so viel hat die Erfahrung gezeigt, daß messingene Röhren bei weitem nicht so schnell sich abnutzen als kupferne.

Es ist von einigen Gegnern der Eisenbahnen, noch mehr aber von Gegnern der jetzt gebräuchlichen Dampfwagen behauptet worden, daß einer der auf der Liverpool-Manchester Eisenbahn gebrauchten Wagen jährlich 1500 Pfund Sterling koste, und daß die Unternehmer die Absicht hegten, die Dampfwagen ganz aufzugeben und stehende Dampfmaschinen oder Pferdekraft zu gebrauchen. Was die erste dieser Behauptungen betrifft, so muß ich bemerken, daß die Kosten der Ausbesserung solcher Maschinen nie in Beziehung auf Zeit, sondern vielmehr auf Leistungen oder auf Entfernungen, die sie durchreist haben, berechnet werden sollten. Ich habe mich überzeugt, daß Maschinen oft eine Entfernung von 25000 bis 30000 Meilen zurücklegen, ehe eine Erneuerung der Röhren nothwendig ist. Während dieser Leistungen mögen allerdings einzelne Röhren ersetzt werden müssen und andere Ausbesserungen nöthig sein, deren Kosten aber gewiß unter dem ersten Anlage-Kapital stehen. Die andere Behauptung, daß die Aktiengesellschaft die Absicht habe, stehende Maschinen oder Pferde statt der Dampfwagen einzuführen, ist durchaus ungegründet. Welche Verbesserungen man auch bei den Dampfwagen anzubringen denken möge, die Directoren haben gewiß nicht die mindeste Absicht, in den Fortschritten der Verbesserungen auf die angegebene Weise rückwärts zu gehen.

Die Kosten der Dampfwagen haben den früheren An-

schlag so weit überstiegen, daß man es zu Anfange des Jahres 1834 für angemessen hielt, eine Untersuchung über die Ursachen des Unterschiedes zwischen dem veranschlagten und dem wirklichen Aufwande anzustellen, mit der Absicht, praktische Mittel zur Verminderung der Kosten aufzufinden. Es ward ein besonderer Ausschuß ernannt, dem der Kassirer Booth zugesellt ward, um jene Untersuchung zu führen. Die Ergebnisse wurden in einem gründlichen und befriedigenden Berichte dargelegt. Walker und Rastrick hatten in ihrem früheren Gutachten, das die Anwendung von Dampfwagen empfahl, den Anschlag gemacht, daß die Fracht für die Tonne 0,278 Penny oder etwa einen Farthing auf die Meile betragen werde. Fünf Jahre nach den von ihnen angestellten Untersuchungen aber ergab sich, daß die wirklichen Kosten sich auf 0,625 Penny oder etwas über einen halben Penny (4 Pfennige) für die Tonne auf jede Meile beliefen, weit über das doppelte des ursprünglichen Anschlages. Booth war bemüht, die Ursachen dieser Abweichung zu entdecken, indem er die von Walker und Rastrick bei ihrer Schätzung angenommenen Umstände mit denjenigen verglich, unter welchen die Fortschaffung der Waaren wirklich statt fand. Der erste Unterschied, den er bemerkte, betraf die Schnelligkeit der Fortschaffung. Der Voranschlag hatte eine Geschwindigkeit von zehn englischen Meilen in einer Stunde angenommen, und es wurde behauptet, daß eine vierfache Geschwindigkeit einen Zusatz von 50 Prozent Kraft erfodern würde, ohne die Abnutzung der Maschine in Rechnung zu bringen. Nun aber ergab sich, daß die wirkliche Geschwindigkeit doppelt so groß war als die frühere Annahme zum Grunde gelegt hatte, und Booth hielt es für nöthig, in dieser Beziehung 25 Prozent mehr hinzuzufügen.

Der zweite Unterschied betraf den Betrag der Ladungen. Der Voranschlag hatte angenommen, daß jeder Dampfwagen mit seiner vollen Ladung abfahren und mit derselben die ganze Entfernung zurücklegen werde. Die Erfahrung aber hatte gezeigt, daß statt einer vollen Ladung von Manchester die Hälfte der Wagen leer nach Liverpool zurückkam, und

statt daß die Fracht auf dem ganzen Wege wäre fortgeschafft worden, machten viele tausend Tonnen der Ladung nur die Hälfte des Weges. Auch war die tägliche Ladung nicht gleichförmig, sondern ungemein schwankend. Es wurde ferner bemerkt, daß man, um Güter von den Seitenwegen und den zwischenliegenden Plätzen fortzuschaffen, täglich mehrmals Dampfwagen von beiden Endpunkten der Bahn abschickt, wobei man mehr den Zweck hat, einen künftigen wohlthätigen Verkehr zu begründen als augenblicklichen Gewinn zu machen. Booth schlug die aus diesen Umständen hervorgehenden Nachtheile so hoch an, daß er dem ursprünglichen Voranschlage 33 Prozent hinzufügte.

Ein anderer Unterschied ging aus den Feuerungsmitteln hervor. In dem Voranschlage hatte man Steinkohlen angenommen und den Preis zu $5\frac{1}{12}$ Schilling für die Tonne berechnet. Später aber verbot eine Parlaments-Akte den Gebrauch der Steinkohlen, des Rauches wegen, und die Aktiengesellschaft mußte entschwefelte Kohlen (Cokes) zu $17\frac{1}{2}$ Schilling die Tonne nehmen.

Wurden diese verschiedenen Abweichungen in Rechnung gebracht und der Anschlag verhältnißmäßig erhöht, so ergab sich, daß die Fortschaffungskosten auf 0,601 Penny für die Tonne auf die englische Meile stiegen, was bis auf $\frac{1}{40}$ Penny dem jetzigen Kostenbetrage gleich kommt. Dieser Unterschied wird auch hinlänglich gerechtfertigt durch die Abnutzung, welche die vermehrte Schnelligkeit herbeiführte, besonders wenn man in Erwägung zieht, daß viele Maschinen gebaut wurden, ehe man auf die erfoderliche große Schnelligkeit rechnete. „Was ist nun das Ergebniß dieser entgegengesetzten und sich entgegen wirkenden Umstände? sagt Booth in dem von ihm entworfenen Berichte des Ausschusses. Und was ist die jetzige Lage der Gesellschaft hinsichtlich der bewegenden Kraft? Die Antwort ist, daß sie sich noch immer auf dem Wege eines Versuches befindet, um praktisch die beste Bauart und die dauerhaftesten Materialien für Dampfwagen auszumitteln, welche größere Ladungen fortschaffen und eine größere Geschwindigkeit erreichen sollen, als man noch vor kurzer Zeit für möglich

hielt und als vor wenigen Jahren der kühnste Erfinder sich einbilden konnte, und daß alle Versuche nicht mit der ruhigen Ueberlegung und den gemessenen Schritten gemacht werden konnten, welche heilsame Vorsicht gebietet, wobei jeder neue Schritt auf dem Wege der Entdeckung sich bewähren muß, ehe man andere wagt, sondern mitten unter dem unruhigen Gedränge und bei aller Verantwortlichkeit eines zunehmenden Verkehrs. Die Directoren wußten nicht, wie lange jede Maschine dauern würde, bis sie als unwirksam bei Seite gestellt werden mußte, sondern sie mußten Maschinen haben, mochten sie gut oder schlecht sein; sie erkannten die Mängel und Unvollkommenheiten, welche sich zu jener Zeit nicht beseitigen ließen, aber sie mußten die Maschinen, trotz allen Nachtheilen kostspieliger Ausbesserungen, in Bewegung halten. Noch immer ist dieser große Versuch nicht abgeschlossen, aber die größten Schwierigkeiten sind meist überwunden, und es läßt sich mit Grunde erwarten, daß die Kosten in dieser Hinsicht sich bald bedeutend vermindern werden, zumal wenn man erwägt, was die Maschinen jetzt leisten, in Vergleichung mit den Leistungen, die man vor zwei Jahren sah."

In dem mit dem 31. December 1831 geschlossenen halben Jahre hatten 6 der besten Dampfwagen (Planet, Merkur, Jupiter, Saturn, Venus, Aetna) 66,044 englische Meilen (jede einzeln 8000 bis 12,000) zurückgelegt. In dem mit dem 31. December 1833 geschlossenen halben Jahre aber hatten die besten sechs Maschinen (Jupiter, Saturn, Sonne, Aetna, Ajax, Leuchtwurm) überhaupt 95,851 Meilen (jede einzeln 15,000 bis 17,000) zurückgelegt.

96.

Die von Eisenbahnen zu erlangenden Vortheile werden bedeutend vermindert durch die Schwierigkeiten, welche aus den Unebenheiten entstehen, die man auf allen Straßen findet, die aber bei Dampfwagen aus besondern Ursachen große Nachtheile herbeiführen. Will man das Wesen dieser Schwierigkeiten sich erklären, so muß man das Verhältniß beachten, das zwischen der Zugkraft auf einer Ebene und auf einer ge-

neigten Fläche besteht. Auf einer ebenen Bahn kann man die Zugkraft, welche erfodert wird, um eine Ladung fortzuschaffen, die auf Wagen von jetzt gewöhnlicher Bauart ruht, vielleicht auf $7\frac{1}{2}$ Pfund *) für jede Tonne anschlagen, das heißt, wenn ein Wagen auf einer ebenen Eisenbahn mit einer Tonne beladen wäre, so würde die Pferdekraft, die erfoderlich wäre, die Last zu ziehen, $7\frac{1}{2}$ Pfund gleich sein, und wäre die Last zwei oder drei Tonnen schwer, so würde die erfoderliche Kraft auf 15 oder $22\frac{1}{2}$ Pfund steigen. Diese Zugkraft, die der Mangel einer vollkommenen Gleichheit der Straße und die Reibung der Räder und Achsen der Wagen nothwendig machen, ist dieselbe, mag die Straße eben oder eine geneigte Fläche sein, und es wird daher, wenn man eine geneigte Fläche hinanfährt, dieselbe Zugkraft derjenigen Kraft hinzugefügt werden müssen, welche dem Streben der Ladung, die Ebene hinabzufallen entgegengesetzt werden muß. Dieses Streben findet immer in dem Verhältniß der Höhe zu der Länge einer geneigten Fläche statt, das heißt, eine geneigte Ebene bei einer Steigung von 1 Fuß in 100 würde einem Gewicht von 100 Tonnen ein Streben hinabzufallen geben, das sich auf 1 Tonne beliefe, und würde daher 1 Tonne zu der für eine solche Ladung auf einer vollkommenen Ebene nöthigen Zugkraft hinzufügen. Da nun, $7\frac{1}{2}$ Pfund ungefähr $\frac{1}{300}$ einer Tonne sind, so würde, wenn eine geneigte Ebene eine Steigung von 1 Fuß in 300 oder, was dasselbe ist, von $17\frac{1}{2}$ Fuß auf eine englische Meile hätte, eine solche Anhöhe $7\frac{1}{2}$ Pfund auf die Tonne zu der Zugkraft hinzufügen. Eine geneigte Fläche dieser Art würde daher eine doppelt so große Zugkraft fodern, als eine vollkommene Ebene. Für jede 7 Fuß Steigung auf einer Meile müssen der Zugkraft 3 Pfund auf die Tonne hinzugesetzt werden. Wollen wir daher die Kraft

---

*) Man rechnet jetzt gewöhnlich 9 Pfund auf die Tonne, aber, wie der Verfasser nach den von ihm auf Eisenbahnen angestellten Versuchen annehmen zu dürfen glaubt, zu hoch, und er ist der Meinung, daß selbst $7\frac{1}{2}$ Pfund als durchschnittliche Zugkraft auf einer Ebene noch zu viel sei.

ausmitteln, die erfoderlich ist, eine Ladung eine gegebene Steigung auf einer Eisenbahn hinanzuschaffen, so müssen wir zuerst $7\frac{1}{2}$ Pfund als die zur Ueberwindung des Widerstandes der Straße nöthige Kraft rechnen und dann 3 Pfund für jede 7 Fuß Steigung auf eine englische Meile hinzufügen.

Es liegt am Tage, daß, wenn eine Eisenbahn mehre geneigte Ebenen, selbst von der mäßigsten Steigung hat, die auf derselben gebrauchte forttreibende Kraft fähig sein muß, in einem hohen Grade verstärkt zu werden, nach Verhältniß der Steigung, die zu überwinden ist. Eine Ebene, die $52\frac{1}{2}$ Fuß in einer englischen Meile steigt, erscheint dem Auge kaum als eine Anhöhe und doch verlangt sie eine vierfach verstärkte Zugkraft.

Es ist der thierischen Kraft eigen, daß ihre Stärke innerhalb gewisser Gränzen, wie es die Gelegenheit fodert, nach Willkühr in Thätigkeit gesetzt werden kann, die Stärke der mechanischen Kraft aber kann in dem eben betrachteten Falle nicht so bequem verändert werden, außer in engen Gränzen.

Man hat versucht, die Schwierigkeiten, die für den Gebrauch der Dampfwagen aus geneigten Ebenen entstehen, auf verschiedene Weise zu besiegen.

1. Bei der Ankunft am Fuße einer Steigung wird die Ladung getheilt und die Maschine bringt dieselbe auf mehren Fahrten hinan, indem sie nach jeder Fahrt leer hinabgeht. Diesem Hilfsmittel steht entgegen, daß es Zögerungen verursacht und bei einer großen Anzahl von Reisenden nicht ausführbar ist. Hätte die Maschine ihre volle Ladung, so würde es nach den oben gegebenen Auseinandersetzungen nöthig sein, dieselbe in vier Abtheilungen hinanzubringen, wenn die Steigung 52 Fuß in einer englischen Meile wäre. Bei der Fortschaffung von Gütern hat man dieses Mittel auf der Liverpool-Manchester-Bahn zuweilen angewendet.

2. Es kann ein Hilfs-Dampfwagen stets am Fuße jeder Steigung bereit gehalten werden, um den Wagenzügen, sobald sie ankommen, Beistand bei dem Hinanfahren zu leisten. Gegen dieses Mittel streitet der Einwurf, daß es kostspielig ist, immer eine Maschine bereit zu halten. Es würde

nothwendig sein, das Feuer immer brennen zu lassen, es möge gebraucht werden oder nicht, sonst müßte der Wagenzug bei der Ankunft warten, bis die Hilfsmaschine in Thätigkeit treten könnte. Wo aber Wagenzüge zu bestimmten Zeiten aufbrechen und ankommen, würde dieser Einwurf weniger Gewicht haben. Auf der Liverpool-Manchester-Bahn wird dieses Mittel jetzt allgemein angewendet, auf geneigten Ebenen von beträchtlicher Länge kann es jedoch nicht vortheilhaft sein.

3. Es kann auf dem Rücken der Anhöhe eine stehende Dampfmaschine errichtet werden, mit welcher ein Wagenzug am Fuße der Steigung durch Stricke verbunden wird. Sie würde im Stande sein, einen oder zwei Wagenzüge auf einmal sammt ihren Dampfwagen heraufzuziehen, sobald sie angekommen wären, ohne daß Zögerung entstände. Es ist dabei aber nothwendig, die stehende Maschine beständig bereit zu halten, ihre Wirkungskraft auszuüben. Dieses Mittel ist mit einem starken Personenverkehr kaum vereinbar, außer am Endpunkte einer Bahn.

4. Auf einer vollkommenen Ebene kann die Verbindung zwischen dem Kessel und dem Cylinder im Dampfwagen beschränkt werden, wenn man das Regulator-Ventil (siehe 59) theilweise schließt, um den Druck auf den Kolben bedeutend geringer zu machen als den Dampfdruck in dem Kessel. Läßt sich unter solchen Umständen ein hinlänglicher Druck auf den Kolben erlangen, um die Ladung auf der Ebene zu ziehen, so kann das Ventil, wenn der Wagen sich der geneigten Ebene nähert, geöffnet werden, um auf den Kolben einen Druck zu bringen, der in demselben Verhältnisse größer ist, als der frühere Druck im Kessel den Druck auf den Kolben übertraf. Wird das Feuer so lebhaft unterhalten, daß während des Hinanfahrens ein hinlänglicher Dampfzufluß statt findet, und ist die Steigung nicht verhältnißmäßig größer als die erlangte Kraft, so wird der Dampfwagen die Ladung ohne weiteren Beistand hinanziehen. Es ist jedoch zu bemerken, daß in diesem Falle die Ladung der Maschine geringer sein muß als der Betrag, den die Adhäsion der Räder auf der Bahn zu ziehen im Stande ist, denn diese Adhäsion muß der für dieselbe

Ladung auf der geneigten Ebene erfoderlichen Zugkraft angemessen sein, sonst würden, wie viel Kraftzuwachs auch durch das Oeffnen des Regulator-Ventils gewonnen werden möge, die Räder sich umdrehen, ohne die Ladung weiter zu schaffen. Man hat dieses Mittel auf der Liverpool-Manchester-Eisenbahn gewöhnlich bei der Fortschaffung von Reisenden gebraucht, und es ist in der That auch das einzige bis jetzt bekannte, das mit der für diese Art von Verkehr nöthigen Schnelligkeit vereinbar ist; doch steht ihm entgegen, daß ein weit höherer Druck im Kessel unterhalten werden muß, als für die Fortschaffung der Ladung auf den ebenern Theilen der Bahn nothwendig ist. — Bei der Anwendung dieses Mittels läßt sich der Erfolg bedeutend erhöhen, wenn man während des Hinanfahrens den Zufluß des Speisewassers hemmt. Man wird sich erinnern, daß ein Gefäß mit kaltem Wasser sich auf dem Vorrathswagen befindet, welcher der Maschine folgt, und daß das Wasser aus demselben mittels einer von der Maschine in Bewegung gesetzten Pumpe in den Kessel getrieben wird. Diese Pumpe ist so eingerichtet, daß sie so viel kaltes Wasser zuführt, als der Verdampfung gleich ist, so daß stets dieselbe Wassermenge im Kessel ist. Auf der andern Seite aber ist klar, daß der Zufluß dieses Wassers die Verdampfung leicht hemmen kann, denn während es zu der Temperatur des Wassers, mit welchem es sich vermischt, erhoben wird, muß es einen beträchtlichen Theil der von dem Feuer gegebenen Wärme in sich aufnehmen. Der Maschinenwärter kann bei dem Hinanfahren, um die Dampferzeugung zu beschleunigen, die Thätigkeit der Wasserpumpe hemmen. Die Verdampfung wird dann mit vermehrter Schnelligkeit geschehen, und der dadurch herbeigeführte Wassermangel kann auf der nächsten ebenen Bahnlinie durch die Pumpe ersetzt werden, oder noch wirksamer bei der nächsten Senkung der Bahn, wo die Thätigkeit der Maschine unterbrochen ist und der Wagenzug vermöge seiner eigenen Schwere hinabgeht. Dieses Mittel kann auf den für Reisende bestimmten Eisenbahnen mit Erfolg angewendet werden, wenn die geneigte Ebene nicht über 18 Fuß Steigung in einer englischen Meile hat, und selbst Stei-

gungen von 36 Fuß in einer englischen Meile können auf diese Weise überwunden werden, wenn man einen Theil der bewegenden Kraft opfern will. Da dieses Opfer jedoch beträchtlich ist, so wird es vielleicht immer besser sein, bei steileren Steigungen Hilfsmaschinen anzuwenden.

5. Die Verbindung zwischen dem Kolben des Cylinders und den Berührungspunkten der Räder mit der Bahn kann bei der Ankunft auf einer geneigten Ebene so geändert werden, daß der Kolben eine stärkere Wirkung auf die Räder ausübt. Dieß läßt sich auf vielfach verschiedene Weise bewirken, aber man hat bis jetzt kein hinlänglich einfaches Mittel aufgefunden, das praktisch ausführbar wäre, und selbst wenn ein geeignetes Mittel sich darböte, so müßte, wenn anders nicht zu gleicher Zeit die treibende Kraft an Stärke zunähme, die Geschwindigkeit der Bewegung sich in demselben Verhältnisse vermindern, als die Wirkungskraft des Kolbens auf die Räder sich verstärkte. So würde auf der geneigten Ebene der Liverpool-Bahn, die eine Steigung von 55 Fuß in einer englischen Meile hat, die Geschwindigkeit auf beinahe ein Viertheil des Betrags vermindert werden, der auf dem ganz ebenen Theile erlangt wird.

Welche Mittel man aber auch anwenden möge, um Steigungen zu überwinden, so ist das Hinabfahren mit Unbequemlichkeiten verbunden. Die Fahrt abwärts wird durch die Schwerkraft beschleunigt, und wird der Wagenzug nicht aufgehalten, so kann das Hinabfahren, wenn die geneigte Ebene, selbst bei geringer Steigung, von beträchtlicher Länge ist, mit einer Schnelligkeit verbunden sein, die sehr gefährlich sein würde. Der Hemmschuh, den man bei einer Fahrt bergab auf Heerstraßen gebraucht, kann auf Eisenbahnen nicht angewendet werden, und selbst eine sperrende Vorrichtung, die man bei den Rädern anwenden könnte, würde nicht ganz sicher sein. Die Reibung, welche durch die schnelle Bewegung des Rades hervorgebracht wird, entzündet zuweilen das Holz, und Eisen würde unzulässig sein.

Nach allem, was wir angeführt haben, ist klar, daß beträchtlich geneigte Ebenen bei dem jetzigen Stande unserer

Kenntnisse der vortheilhaften Benutzung einer Eisenbahn hinderlich, und selbst geringe Steigungen mit großen Nachtheilen verbunden sind*).

97.

Sollen die jetzt auf Eisenbahnen gebräuchlichen Dampfwagen ihre volle Wirkungskraft äußern, so ist es nothwendig, jeder Maschine eine sehr beträchtliche Ladung zu geben. Es ist, wie jetzt unsere Kenntnisse stehen, nicht möglich, drei Dampfwagen dieser Art, deren jeder eine Last von 30 Tonnen zöge, mit denselben Kosten zu bauen und mit derselben Wirkungskraft zu benutzen, als einen Dampfwagen, der 90 Tonnen führte. Daraus entsteht eine Unbequemlichkeit und eine Schwierigkeit, wenn man diese Maschinen zu einer der einträglichsten Fortschaffungsarten, zu dem Personenverkehr, benutzen will. Es ist nicht möglich, selbst zwischen Städten, die ein sehr bedeutender Verkehr verbindet, bei jeder Fahrt so viele Reisende zu finden, daß eine solche Maschine auf einer Eisenbahn gebraucht werden könnte**). Die Schwierigkeit, zu einer bestimmten Stunde eine so ansehnliche Zahl von Reisenden zu erhalten, um die Fahrt machen zu können, liegt zu Tage, und es gibt daher kein anderes Mittel, diesem Nachtheile abzuhelfen, als dieselbe Maschine, die zur Fortschaffung von Reisenden gebraucht wird, auch zur Fortschaffung von Gütern zu benutzen, so daß Güter die Ladung ergänzen

---

*) Es ließe sich bei Veränderungen der ebenen Bahn eine ähnliche Vorrichtung anbringen, wie bei Schleusen in Kanälen. Der Wagenzug könnte auf einer Fläche gehen, die durch ein Maschinenwerk sich heben ließe. So würden bei einer Veränderung der ebenen Fläche der Bahn gleichsam Stufen von einer Ebene zur andern führen, auf welche die Ladungen durch eine Kraft gehoben werden könnten, welche die Maschinerie in Bewegung setzte. Man würde dann den Vortheil haben, daß die Wagenzüge immer auf einer Ebene gingen.

**) Bei Gelegenheit eines Wettrennens in Newton, 15 Meilen von Liverpool, wurden zwei Dampfwagen abgeschickt, die Reisenden abzuholen. Einer derselben wurde durch einen Unfall gehindert, die Rückfahrt zu machen, und beide Wagenzüge wurden an eine Maschine gehängt, die bei dieser Gelegenheit 800 Personen zog.

können, wenn der Personenverkehr sie nicht gibt. Ist der Güterverkehr hinlänglich, so können solche Maschinen mit ihrer vollen Ladung abfahren, was auch immer die Zahl der Reisenden sein möge.

98.

Vergleicht man den Betrag des Anlage-Kapitals und den jährlichen Aufwand für die Liverpool-Manchester-Bahn und betrachtet beides als Anhaltpunkte bei der Entwerfung eines Kostenanschlags für ähnliche Unternehmungen, so muß man auf mehre wichtige Umstände achten. Ich habe bereits gesagt, wie viele Geldmittel für Dampfwagen aufgewendet wurden, die man bloß als Versuchmaschinen betrachten konnte, welche durch schnell auf einander folgende Verbesserungen verdrängt wurden. Die meisten dieser Maschinen sind noch immer brauchbar, aber aus den bereits angegebenen Gründen auf die Seite gestellt worden. Andere Aktien-Vereine werden die Erfahrungen benutzen, welche die Liverpool-Gesellschaft so theuer bezahlt hat. Dieser Vortheil, den künftige Gesellschaften ernten, wird immer steigen, bis solche Vereine ihre Werke vollendet haben.

Ein großer Theil der laufenden Ausgaben für eine Eisenbahn ist unabhängig von der Länge der Bahn, und beträgt nur etwas weniger für die Linie, die Liverpool und Manchester verbindet, als sie für eine Birmingham mit Liverpool oder London verbindende Linie betragen würde. Die Anstellung von Werkmeistern, die Erbauung von Wagenschuppen und andere Erfodernisse an den Endpunkten der Linie, würden bei einer bedeutenden Länge der Bahn die Kosten nur wenig erhöhen, und dieselbe Bemerkung ist auch auf andere Ausgabeposten anwendbar.

Nach dem Beispiele der Gesellschaften, welche die Kanalverbindung zwischen Liverpool und Manchester gegründet haben, hat auch die Eisenbahn-Gesellschaft, um mit den Kanälen zu wetteifern, Niederlagen und Packhäuser für die zwischen beiden Städten fortzuschaffenden Waaren angelegt, ohne deshalb die Fracht zu erhöhen. Dieß nöthigte sie, ein be-

deutendes Kapital auf diese Anlagen zu verwenden und der Unterhaltung derselben einen jährlichen Aufwand zu widmen. Auf einer längeren Bahn würden solche Ausgaben, wenn sie überhaupt nöthig wären, nicht im Verhältniß steigen.

99.

Vergleicht man die Fortschaffung durch Dampfkraft mit der Fortschaffung durch Pferde, selbst auf Eisenbahnen, so treten die Vortheile dieser neuen Kraft am auffallendsten hervor. Wenn man diese Vortheile vollkommen begreifen will, muß man erwägen, wie thierische Kraft als Fortschaffungsmittel gebraucht wird. Derjenige Theil der Kraft eines Pferdes, der für eine Ladung benutzt werden kann, hängt von der Geschwindigkeit der Bewegung eines Pferdes ab. Diese Geschwindigkeit hat eine gewisse Gränze, wo ein Pferd seine ganze Kraft nöthig hat, seinen eigenen Leib zu bewegen, und wo es folglich nicht im Stande ist, eine Last zu tragen, und auf der andern Seite gibt es eine gewisse Last, die ein Pferd gerade noch tragen kann, ohne aber dabei im Stande zu sein, sich mit irgend einer wirksamen Geschwindigkeit zu bewegen. Zwischen diesen beiden Gränzen liegt ein gewisses Verhältniß der Bewegung, in welchem die nutzbare Wirkung des Thieres am größten ist. Bei stark gebauten Pferden kann man dieses Verhältniß im Durchschnitt auf zwei englische Meilen in einer Stunde setzen, und bei leichter gebauten anf dritthalb Meilen in einer Stunde. Ueber diese Gränze der Geschwindigkeit hinaus vermindert sich die Last, die sie fortzuschaffen im Stande sind, in sehr schnellem Verhältniß, je mehr die Geschwindigkeit zunimmt. Wäre 121 die Last, die ein Pferd bis auf eine gegebene Entfernung in einem Tage fortschaffen könnte, wenn es 4 englische Meilen in einer Stunde zurücklegte, so würde dasselbe Pferd nicht im Stande sein, mehr als eine Last, die 64 betrüge, auf eine gleiche Entfernung fortzuschaffen, wenn es 7 Meilen in einer Stunde machte, und sollte es 10 Meilen zurücklegen, so würde sich die Last, die es tragen könnte, bis auf 25 vermindern. Angenommen nun, daß die nutzbarste Geschwindigkeit, die man von einem Pferde

erhalten kann, 2 englische Meilen auf eine Stunde sind, so kann es, wenn es täglich 10 Stunden in Thätigkeit ist, eine Last von 12 Tonnen auf einer ebenen Eisenbahn bis auf eine Entfernung von 20 Meilen fortschaffen, so daß man die ganze Wirkung eines Tagewerks als 240 Tonnen, eine englische Meile weit fortgeschafft, annehmen kann.

Dieses Geschwindigkeitsverhältniß bei der Fortschaffung paßt aber nicht für den Personenverkehr, und ist es daher nothwendig, Pferde als bewegende Kraft zu benutzen, so muß man besondere Wagen für Reisende haben, so daß Güter mit derjenigen Geschwindigkeit fortgeschafft werden können, bei welcher die größtmögliche Wirkungskraft des Pferdes statt findet, während Reisende mit derjenigen Geschwindigkeit befördert werden, welche, es koste was es wolle, unumgänglich nöthig ist.

Das Gewicht einer gewöhnlichen Postkutsche ist ungefähr zwei Tonnen, und auf einer leidlich ebenen Heerstraße macht sie 10 englische Meilen in einer Stunde. Die Zahl der Pferde, die dazu stets bereit gehalten werden müssen, mit Einschluß der auf den verschiedenen Stationen unumgänglich nöthigen Relaispferde, wird nach dem Verhältnisse von einem Pferde auf jede Meile berechnet. Die Leistungen eines auf diese Weise arbeitenden Pferdes lassen sich zu 2 Tonnen, 2 englische Meilen weit in einem Tage, oder auf 4 Tonnen, täglich eine Meile weit fortgeschafft, berechnen. Die Zugkraft auf einer guten Heerstraße beträgt wenigstens das Zwanzigfache der Zugkraft auf einer ebenen Eisenbahn, woraus folgt, daß unter gleichen Umständen die Leistung eines Pferdes auf einer Eisenbahn den zwanzigfachen Betrag seiner Leistung auf einer gewöhnlichen Straße ausmacht. Wir können daher die Leistung eines Pferdes, das 10 englische Meilen in einer Stunde auf einer ebenen Eisenbahn macht, einer täglich eine Meile weit fortgeschafften Last von 80 Tonnen gleichstellen.

Die besten Dampfwagen auf der Liverpool-Manchester-Bahn können 150 Tonnen auf ebener Bahnlinie in gleichem Zeitverhältnisse fortschaffen, und wenn man eben so viel Zeit für Aufenthalt rechnet, so würden sie täglich 150 Tonnen

200 Meilen oder 30,000 Tonnen eine Meile weit fortschaffen. Es folgt daraus, daß ein Dampfwagen dieser Art so viel leistet als 7500 Pferde, die auf einer guten Heerstraße ziehen, oder 375 Pferde auf einer Eisenbahn. Zu einer solchen Leistung sind für die besten, jetzt auf der Liverpool-Manchester-Bahn gehenden Dampfwagen 16 Loth entschwefelte Kohlen für die Tonne auf jede englische Meile erfoderlich, mit Einschluß der bei dem Aufenthalte verschwendeten Feuerung. Der tägliche Verbrauch von Feuerungsmitteln würde daher unter solchen Umständen auf 15,000 Pfund entschwefelte Kohlen steigen, und zwei Pfund Kohlen würden täglich die Leistung eines Pferdes auf einer guten Heerstraße, und 40 Pfund täglich die Arbeit eines Pferdes auf einer Eisenbahn verrichten.

Bei dieser Vergleichung nehmen wir an, daß der Dampfwagen mit der vortheilhaftesten Geschwindigkeit, die Pferdekraft hingegen mit der am wenigsten vortheilhaften wirke, wenn man bloß den gesammten Betrag der auf eine gegebene Entfernung fortgeschafften Last beachtet. In dem hier vorausgesetzten Falle aber ist Geschwindigkeit ein unumgänglich nöthiges Element, und Dampf hat daher den großen Vorzug vor Pferdekraft, daß seine vortheilhafteste Geschwindigkeit diejenige ist, die für alle Zwecke der Fortschaffung von Reisenden oder von Gütern paßt.

100.

Vergleicht man die Wirkungen des Dampfes mit Pferdekraft bei einer minder schnellen Bewegung, so werden auch hier die Vortheile der Dampfkraft, doch minder auffallend hervortreten. Ein Lastwagen mit acht Pferden ist gewöhnlich 8 Tonnen schwer und legt $2\frac{1}{2}$ Meilen in einer Stunde zurück, so daß jedes Pferd täglich 20 Meilen macht. Starke Pferde können auf diese Weise täglich 8 Stunden reisen, und so macht jedes Pferd täglich 20 Meilen. Man kann daher die Leistung jedes Pferdes 20 Tonnen, eine Meile weit fortgeschafft, gleichstellen, und da seine Leistung auf einer Eisenbahn zwanzigmal so viel beträgt, so kann man sie zu 400 Tonnen, täg-

lich eine Meile weit fortgeschafft, rechnen. Ein auf diese arbeitendes Pferd leistet daher fünfmal so viel als ein Pferd, das 10 Meilen in einer Stunde zurücklegt, da dieses nur 4 Tonnen täglich eine Meile weit auf einer guten Heerstraße, oder 80 Tonnen auf einer Eisenbahn fortschafft. Dieß gibt uns das Verhältniß der Leistung von Pferden, die Wagen ziehen, zu der Leistung eines Dampfwagens. Sind 2 Pfund Kohlen der täglichen Leistung eines Pferdes vor einer Postkutsche und 40 Pfund Kohlen auf einer Eisenbahn, bei einer Geschwindigkeit von 10 Meilen in einer Stunde gleich, so folgt, daß 10 Pfund so viel leisten als ein Pferd auf einer Heerstraße, und 200 Pfund auf einer Eisenbahn bei einer Geschwindigkeit von 2½ Meilen in einer Stunde. Da nun ein Dampfwagen das Tagewerk von 7500 Postkutschen-Pferden verrichten kann, so folgt, daß er so viel als 1500 Frachtwagen-Pferde leistet.

Man darf nicht vergessen, daß diese Ergebnisse in einzelnen Fällen Veränderungen erleiden und nur Berechnungen im Durchschnitte sind. Verschiedene Dampfmaschinen, wie verschiedene Pferde, sind ungleich in ihren Leistungen, und da die Straßen, auf welchen Pferde ziehen, nicht von gleicher Vollkommenheit sind und verschiedene Unebenheiten haben, so muß die Leistung der Pferdekraft verschieden ausfallen.

Auch bei der praktischen Vergleichung der Ergebnisse einer so mächtigen Kraft als der auf Eisenbahnen gebrauchte Dampf gewährt, mit der geringen Kraft der Pferde auf Heerstraßen ist zu erwägen, daß die große Vertheilung der Ladungen und der häufige Aufenthalt unterwegs zu Gunsten der Pferdeleistung sind, insofern es häufiger sich zutragen möchte, daß Dampfwagen, die ungeheure Lasten fortzuschaffen vermögen, bei geringeren Ladungen Aufenthalt finden würden, als es bei der Anwendung von Pferden statt finden würde, wo kleine Ladungen in kurzen Zwischenräumen aufgehalten werden können. Dieß ist in der That eine praktische Schwierigkeit, die bei dem Gebrauche von Dampfwagen auf Eisenbahnen eintritt, und die vielleicht für jetzt die Anwendung

derselben bloß auf Strecken beschränken wird, welche Städte von lebhaftem Verkehr verbinden.

Die auffallendste Wirkung der Dampfkraft auf Eisenbahnen zeigt sich in der außerordentlichen Geschwindigkeit, welche sich dadurch erreichen läßt, und ist um so merkwürdiger, als dieser Vortheil nie vorausgesehen wurde, bis die Erfahrung ihn bewies. Wir haben bereits erwähnt, daß man bei der Anlegung der Bahn zwischen Liverpool und Manchester hauptsächlich auf die Fortschaffung schwerer Güter rechnete und gar nicht erwartete, aus dem Personenverkehr den größten Gewinn zu ziehen. Die Berechnungen für künftige Plane werden sich nach diesen Erfahrungen wesentlich ändern und ein lebhafter Personenverkehr wird als eine nothwendige Bedingung für das Gedeihen einer solchen Unternehmung betrachtet werden.

Bringt man diesen Vortheil der Schnelligkeit in Anschlag, so läßt sich Pferdekraft gar nicht mit Dampfkraft auf Eisenbahnen vergleichen. Aus den bereits erwähnten Versuchen geht hervor, daß eine Dampfmaschine 90 Tonnen gegen 20 englische Meilen weit in einer Stunde ziehen kann und das Doppelte dieser Last zwischen Liverpool und Manchester in ungefähr 3 Stunden. Es würden 270 Pferde nöthig sein, dieselbe Last auf gleiche Entfernung in einem Tage auf Frachtwagen fortzuschaffen. Es läßt sich zwar dagegen einwenden, daß jener Versuch unter günstigen Umständen angestellt und bei den schwierigen Punkten der Steigung Hilfswagen gebraucht wurden; aber auf einer gewöhnlichen Fahrt bei der Fortschaffung von Waaren, wo größere Schnelligkeit nicht verlangt wird, ist das Verhältniß der Bewegung nicht geringer als 15 Meilen in einer Stunde. Bei Wagenzügen mit Personen ist der Schnelligkeit besonders der Aufenthalt entgegen, der auf der Bahn entsteht, wenn Reisende einsteigen oder absteigen. Es gibt auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester jetzt zwei Arten von Dampfwagen, von welchen einer nur einmal auf halbem Wege einige Minuten lang Halt macht. Diese Wagen legen 30 englische Meilen in anderthalb Stunden und zuweilen in einer Stunde und zehn Minuten zurück. Auf dem ebenen Theile der Bahn ist die gewöhnliche Geschwindigkeit 27 Meilen in ei=

ner Stunde, und ich habe zuweilen gesehen, daß gegen 30 Meilen in einer Stunde zurückgelegt wurden. Diese Geschwindigkeiten aber, die durch die gewöhnliche Thätigkeit der Dampfmaschinen bei der Fortschaffung von Reisenden und Gütern erlangt werden, sind weit unter der Leistungskraft der jetzigen Dampfwagen, was die Schnelligkeit der Fortschaffung betrifft. Einige Versuchfahrten, bei welchen die Dampfwagen eine geringere Last hatten, zeigten, daß eine bedeutende Vermehrung der Geschwindigkeit ganz ausführbar sei. Bei einem dieser Versuche zog die Dampfmaschine einen Wagen mit 36 Personen 48 englische Meilen weit in einer Stunde, und ich glaube, eine Maschine, die bloß ihr eignes Gewicht fortzuschaffen hätte, würde 15 Meilen in 15 Minuten zurücklegen.

Aber warum hat man Dampfmaschinen, wenn sie hinsichtlich der Geschwindigkeit so viel zu leisten vermögen, nicht auf der Eisenbahn angewendet, wo die Geschwindigkeit jetzt im Durchschnitte nicht über 25 Meilen in einer Stunde beträgt? Die Antwort ist, daß der Weg von 30 Meilen zwischen Liverpool und Manchester in anderthalb Stunden zurückgelegt wird und täglich 10 Wagenzüge zwischen beiden Städten gehen, und überdieß täglich dreimal die Postkutsche. Eine größere Geschwindigkeit würde auf einem so kurzen Wege ganz unnöthig sein. Wenn aber erst längere Bahnlinien vollendet sein werden, müssen sich die Umstände ändern und dann wird besonders die Fortschaffung von Postkutschen die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Volle Reisewagen, wie sie gewöhnlich auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester gehen, sind gegen 50 Tonnen schwer, bei einer leichtern Ladung aber werden leichter und schneller fahrende Dampfwagen gebraucht werden können. Die Fortschaffungskosten würden bei einer solchen Maschine zwar höher steigen, aber die größere Schnelligkeit würde reichlichen Ersatz dafür geben. Ist nun erst London mit Liverpool durch eine über Birmingham geführte Eisenbahn verbunden, so wird das Handelsinteresse jener Städte nothwendig die Aufmerksamkeit auf die größtmögliche Schnelligkeit des Zwischenverkehrs leiten. Man wird für die Fortschaffung von Postkutschen besondere Maschinen bauen, die für leichtere Lasten und größere

Geschwindigkeit passen. Mit solchen Dampfwagen werden die Postkutschen eine beschränkte Anzahl von Reisenden fortschaffen, und abgesehen von möglichen Verbesserungen, welche die Dampfwagen später erhalten können, wird sich gewiß schon bei ihrer jetzigen Wirkungskraft eine solche Ladung gegen 60 englische Meilen in einer Stunde fortschaffen lassen. Ueberlassen wir uns den Erwartungen, welche die wahrscheinlichen Verbesserungen der Dampfmaschine erwecken dürfen, so glaube ich nicht, daß selbst das Doppelte dieser Geschwindigkeit die Gränzen der Leistungen überschreiten werde, welche die Mechanik noch machen kann.

Die große Ausdehnung, welche die Anwendung der Dampfkraft auf die Beförderung des Binnenverkehrs durch die vielen theils begonnenen, theils entworfenen Eisenbahnen haben wird, gibt der Untersuchung über diesen Gegenstand ein großes Interesse. Weder die Weisheit des Philosophen, noch die Kunde des Statistikers, noch auch der Vorausblick des Staatsmanns ist im Stande, die wichtigen Folgen zu bestimmen, welche die Ausführung dieser Entwürfe auf die Fortschritte des menschlichen Geschlechts haben wird. Wie sehr die Fortschritte der Civilisation, die Verbreitung der Kenntnisse, die Bildung des Geschmacks, die Verfeinerung der Sitten von einer leichten und schnellen Vermischung der Bestandtheile der menschlichen Gesellschaft abhangen, bedarf keiner Auseinandersetzung. So lange die Bevölkerung aus abgesonderten und unabhängigen Massen besteht, die sich nicht in einander mischen können, werden ihre schlummernden Verwandtschaften nie zur Thätigkeit geweckt und die wichtigsten Eigenschaften einer jeden nie der andern mitgetheilt. Wie feste Körper in der Physik, gehen sie nur langsam in Verbindungen über; aber wenn sie die Eigenschaft des Flüssigwerdens erhalten haben, wenn ihre Bestandtheile durch Schmelzung auseinandergehen, dann fließen die Theile des einen durch die Theile des anderen, es werden die Verwandtschaften geweckt, neue Verbindungen gebildet, ein wechselseitiger Austausch der Eigenschaften tritt ein und es entstehen Zusammensetzungen, die weit mehr Werth haben, als die ursprünglichen Elemente.

Die Verbreitung der Civilisation und die Beförderung des Verkehrs zwischen den von einander entfernten Volksmassen sind immer mit gleichzeitigen Fortschritten verbunden gewesen, und das eine schien immer die Ursache oder die Folge des andern zu sein. Daher kommt es, daß die Städtebewohner stets der ländlichen Volksmenge in geistiger Regsamkeit voraus sind. Aber die Wohlthaten des Verkehrs können, ohne die eigenthümlichen Vorzüge einer jeden aufzuheben, auf beide ausgedehnt werden, wenn die außerordentliche Leichtigkeit des Verkehrs, welche eine Folge der anzulegenden Eisenbahnen sein muß, in das Leben getreten ist. Auf der großen Eisenbahn-Linie zwischen London und Birmingham wird man die Reise zwischen beiden Städten mit der Hälfte des zeitherigen Aufwandes an Zeit und Kosten machen können, und der Verkehr selbst wird wahrscheinlich vervierfacht werden, wenn wir auch nur den unmittelbaren Verkehr zwischen den beiden Endpunkten der Linie betrachten; sehen wir aber auf die zahlreichen Arme, die sich in den Hauptstrom aus allen anliegenden Punkten ergießen werden, so haben wir keine Analogien, auf welche wir eine Berechnung der unermeßlichen Zwischenverbindung, die dann statt finden muß, stützen können. So müssen leicht verderbende Gewächse, welche für die Städte Bedürfniß sind, jetzt in den Vorstädten erzeugt werden; wenn sie aber auf einer ebenen Bahn zwanzig englische Meilen weit in einer Stunde fortgeschafft werden können, so wird der Landbauer aus entfernteren Gegenden sie herbeiführen. Die Städtebewohner werden nicht länger auf ihre engen Straßen beschränkt, nicht mehr in ihren hohen Häusern zusammengedrängt sein, sondern in Entfernungen wohnen können, die jetzt zu weit von dem Kreise ihrer täglichen Beschäftigungen sein würden. Die Städte müssen gesunder werden, wenn sich ihre Bewohner über eine größere Oberfläche, ohne Nachtheile für ihren Lebensberuf, verbreiten können; die Vortheile des Landlebens werden den Städtern zufließen und die Verfeinerung und Gesittung der Städte ihre Wohlthaten über die ländliche Bevölkerung verbreiten.

101.

Die Kanäle sind in Großbritannien ein so beträchtlicher

Theil des Privateigenthums, daß Untersuchungen über die Vortheile dieses Verbindungsmittels in Vergleichung mit den Eisenbahnen, mögen sie mit Pferden oder durch Dampfkraft befahren werden, sehr interessant sind, und das Interesse derselben ist durch die Ausdehnung der Eisenbahn=Plane in der neuesten Zeit bedeutend erhöht worden. Ohne hier in eine umständliche Untersuchung einzugehen, bemerken wir nur, daß ein auf dem Wasser gehendes Fahrzeug, wenn es sich mit einer gewissen Schnelligkeit bewegt, viermal so viel treibende Kraft verlangt, um mit doppelter Geschwindigkeit zu gehen, wenn anders nicht bei vermehrter Schnelligkeit das Fahrzeug weniger tief im Wasser geht. Versuche, die man auf Kanälen mit besonders gebauten und von Pferden gezogenen Böten gemacht hat, haben zu dem unerwarteten Schlusse geführt, daß nach der Erreichung einer gewissen Schnelligkeit der Widerstand, statt sich zu vermehren, sich vermindert hat. Diese Thatsache ist in Uebereinstimmung mit dem Gesetze des Widerstandes, der auf das Fahrzeug im Wasser wirkt. Die Ursache jener Erscheinung liegt in dem Umstande, daß, wenn die Geschwindigkeit einen gewissen Punkt erreicht hat, das Boot allmälig aus dem Wasser hinaufsteigt und nicht mehr so tief als früher geht.

Auf einigen Kanälen in Schottland gehen Fahrzeuge mit Reisenden gegen 10 englische Meilen in einer Stunde, ohne den Aufenthalt bei den Schleusen in Rechnung zu bringen. Die dabei gebrauchte Pferdekraft wird hier mit größerem Vortheile benutzt, als sie bei gleicher Schnelligkeit auf einer Heerstraße gebraucht werden könnte, und wahrscheinlich eben so vortheilhaft als auf einer Eisenbahn. Sie ist wahrscheinlich wohlfeiler als die Fortschaffung von Reisenden auf Eisenbahnen, aber die Geschwindigkeit weit geringer, und bei der Natur der treibenden Kraft kann sie auch nicht verstärkt werden.

Es läßt sich mit Grunde annehmen, daß eine ähnliche Wirkung bei Dampfschiffen statt findet. Man hat bei verstärkter Kraft der Dampfmaschine auf einigen Post=Dampfböten die Bemerkung gemacht, daß, während die Zeitdauer derselben Reise vermindert wurde, auch der Verbrauch der Feuerungsmittel sich verminderte. Da nun der Verbrauch der

Feuerungsmittel in geradem Verhältnisse mit der bewegenden Kraft steht, diese aber in geradem Verhältnisse zu dem Widerstande, so folgt, daß in diesem Falle auch der Widerstand sich vermindert haben muß.

102.

Bei einer sehr geringen Geschwindigkeit der Fortschaffung sind die nützlichen Wirkungen der Pferdekraft auf Kanälen etwas größer, als die Wirkung derselben Kraft auf Eisenbahnen; aber bei jeder Geschwindigkeit von mehr als drei Meilen in einer Stunde ist die Wirkung auf Eisenbahnen größer, und wenn die Geschwindigkeit bedeutend ist, so wird der Kanal gar nicht mehr anwendbar sein, während die Eisenbahn keinen ihrer Vortheile verliert. Ein Pferd kann, bei sechs Meilen in einer Stunde, auf einer Eisenbahn dreimal so viel wirken als auf einem Kanal, und bei acht Meilen in einer Stunde fünfmal so viel.

Der Umstand aber, welcher in Beziehung auf Reisende den Eisenbahnen, in Vergleichung mit Kanälen, einen Vorzug gibt, der diesen nachtheilig ist, liegt darin, daß die größere Schnelligkeit und Wohlfeilheit, die eine Eisenbahn vermöge der Dampfkraft gewähren kann, solchen Bahnen immer nicht nur ein Monopol für die Beförderung von Reisenden sichern, sondern auch den Ertrag dieser Einnahmequelle in einem unermeßlichen Verhältnisse steigern müssen. Dieß hat sich auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester gezeigt. Vor der Eröffnung der Eisenbahn gingen täglich gegen 25 Wagen zwischen beiden Städten. Rechnen wir für jeden auf jeder Fahrt 10 Reisende, so erhalten wir ungefähr 500 für jeden Tag, oder 3000 auf jede Woche. In den letzten sechs Monaten des Jahres 1831 betrug die Zahl der Reisenden zwischen beiden Städten, ohne die unterwegs aufgenommenen zu rechnen, 256,321, und mit jenen gegen 300,000. Jetzt geht nicht mehr als ein Postwagen täglich zwischen Liverpool und Manchester, und es ergibt sich daraus, daß, abgesehen von dem Monopol der Fortschaffung von Reisenden, die Zahl der Reisenden sich vervierfacht hat.

Das auf diese Weise den Eisenbahnen gesicherte Fortschaffungs-Monopol wird einer Eisenbahn stets einen so bedeutenden Vortheil gewähren, daß sie im Stande ist, für Waaren eine verhältnißmäßig geringe Fracht zu nehmen.

Bei leichten Gütern, die schnelle Beförderung verlangen, wird die Eisenbahn immer den Vorzug behaupten, und die Frage über die gegenseitigen Vortheile dieses Verbindungsmittels und der Kanäle kann nur in Hinsicht auf jene Arten von schweren Gütern statt finden, wo auch eine geringe Ersparung an Fracht wichtiger als Schnelligkeit der Fortschaffung ist.

103.

Die erste Wirkung, welche die Eisenbahn auf die Kanäle zwischen Liverpool und Manchester hatte, war ein Fallen der Frachtpreise. Jetzt ist, so viel ich weiß, der Frachtpreis für die Tonne auf der Eisenbahn und auf den Kanälen gleich. Man wird daher natürlich fragen, warum denn unter diesen Umständen die schnellere Fortschaffung und die größere Sicherheit auf Eisenbahnen diesen nicht in allen Fällen den Vorzug sichere und den Kanälen nicht alle Fracht raube. Dieß liegt in örtlichen und zufälligen Ursachen, wie auch in unmittelbarem Einflusse und in persönlichen Interessen. Ein großer Theil der Bewohner beider Städte hat Kapital in den Kanälen angelegt, und diese Personen sind sehr dabei betheiligt, die Kanäle trotz den Eisenbahnen zu erhalten. Sie geben in ihren eigenen Angelegenheiten den Kanälen den Vorzug und bewegen alle, auf welche sie Einfluß haben, es in allen Fällen zu thun, wo schnelle Fortschaffung nicht unumgänglich nöthig ist. Ueberdieß gehen die Kanäle bis zu dem Ausschiffungsplatze in Liverpool und durchfließen Manchester in verschiedenen Richtungen, so daß sie die Mauern vieler Niederlagen und Faktoreien bespülen, für welche ihre Ladungen bestimmt sind.

Zehnter Abschnitt.

Dampfwagen auf Heerstraßen.

104.

Wir haben bisher die Dampfkraft nur als ein Fortschaffungsmittel auf Eisenbahnen betrachtet, aber der Unternehmungsgeist ist in neueren Zeiten dabei nicht stehen geblieben. Es sind verschiedene, zum Theil mit günstigem Erfolge gekrönte Versuche gemacht worden, Dampfwagen auf Heerstraßen zu gebrauchen. Man hat zwar die Ausführbarkeit dieses Gedankens sehr in Zweifel gezogen; wenn wir aber in die Geschichte der Erfindung der Dampfmaschine zurückblicken, so sehen wir, daß ähnliche Zweifel und Bedenklichkeiten sich fast bei jedem wichtigen Fortschritte derselben erhoben haben. Vergleichen wir eine Heerstraße und eine Eisenbahn, so treten zwei Umstände hervor, welche dieser offenbar einen Vorzug geben. Einer dieser Umstände ist, daß die aus der Unebenheit der Oberfläche entstehenden Hindernisse der sich fortwälzenden Bewegung der Räder auf einer Eisenbahn bedeutend geringer sind, als auf einer Landstraße, und zwar in dem Verhältnisse von 1 zu 20. Dieses Verhältniß aber ist durch die Beschaffenheit der Heerstraße bedingt, mit welcher die Eisenbahn verglichen wird. Eine gut gebaute Heerstraße bietet weniger Widerstand dar als eine schlechte, und es ist eine ausgemachte Thatsache, daß eine nach Mac Adam's System gebaute Heerstraße weit mehr Widerstand darbietet als eine gut gepflasterte. Die Entscheidung der Frage ist daher von einer andern abhängig, nämlich ob

Straßen durch Pflasterung oder auf andere Weise für Dampfwagen ebener und besser gebaut werden können, als es die jetzt für Pferdekraft bestimmten sind.

Die Eisenbahnen haben aber, außer der größeren Ebenheit, noch einen andern Vorzug vor den Heerstraßen, welchen jedoch, wie ich glaube, die Gegner der Anwendung von Dampfwagen auf Straßen wohl sehr übertrieben haben. Es ist eines der längst bekannten Gesetze der Adhäsion, daß diese größer zwischen den Oberflächen von Körpern gleicher Natur, als zwischen verschiedenen ist. So ist sie zwischen Metallen derselben Art größer als zwischen zwei Metallen verschiedener Art. Zwischen zwei Metallen jeder Art aber ist sie größer als zwischen Metall und Stein oder zwischen Metall und Holz. Die Räder eines Dampfwagens haben eine größere Adhäsion an die Oberfläche des Weges und zeigen daher einen größeren Widerstand gegen das Umdrehen, ohne Fortbewegung des Wagens, als es auf einer Heerstraße der Fall sein würde; denn auf der Eisenbahn bleibt der eiserne Felgenkranz in Berührung mit den eisernen Schienen, während auf einer gewöhnlichen Straße die mit Eisen beschlagene Felge mit der steinernen Oberfläche in Berührung ist. Staub und andere sich locker anhängende Stoffe, die sich auf einer Heerstraße sammeln, wirken überdieß, wenn sie zwischen die Räder und die feste Oberfläche der Straße gedrückt werden, gewissermaßen wie Walzen und geben den Rädern eine größere Leichtigkeit zu gleiten, als wenn die Straße ganz rein wäre und die Räder in unmittelbarer Berührung mit der harten Oberfläche blieben. Die Richtigkeit dieser Bemerkung zeigt sich auf den Eisenbahnen selbst, wo die Adhäsion vermindert wird, so oft die Schienen mit fremdartigen Dingen, z. B. Staub oder nassem Thon, bedeckt sind. Obgleich aber die Adhäsion der Räder eines Wagens auf einer gewöhnlichen Straße geringer ist, als bei den Rädern eines Dampfwagens auf Schienen, so ist doch die wirkliche Adhäsion auf Heerstraßen größer, als man es gewöhnlich vorausgesetzt hat, und völlig hinlänglich, Wagen fortzutreiben, die beträchtliche Lasten nach sich ziehen.

Die verhältnißmäßige Leichtigkeit, mit welcher Wagen auf Eisenbahnen und Heerstraßen fortgetrieben werden, trifft

auf gleiche Weise jede bewegende Kraft, mag sie von Pferden oder von Dampfwagen herrühren, und mögen Ladungen von der einen oder der andern Kraft fortgetrieben werden, die Eisenbahn besitzt in Vergleichung mit der Heerstraße immer denselben verhältnißmäßigen Vorzug, und eine gegebene Kraftmenge der einen oder der andern Art wird immer in demselben Verhältnisse weniger auf einer Heerstraße als auf einer Eisenbahn leisten. Dagegen aber sind die Kosten der ursprünglichen Anlage und der Aufwand für die Unterhaltung einer Eisenbahn gegen die gewisse Leichtigkeit der Fortschaffung in Anschlag zu bringen.

Bei den seither gemachten Versuchen, Dampfwagen auf Heerstraßen zu gebrauchen, hatten die Unternehmer zwei Zwecke im Auge, erstens leichtere und kleinere Maschinen zu bauen und zweitens verstärkte Kraft. Es liegt am Tage, daß sich diese beiden Zwecke bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse nur durch die Erzeugung eines Dampfes von sehr hoher Hitze und Spannung erreichen lassen, so daß Dampf von dem kleinsten Rauminhalte die größtmögliche mechanische Wirkung hervorbringe. Die Art, den Wagen fortzutreiben, ist im Ganzen der Forttreibungsweise auf Eisenbahnen gleich gewesen, nämlich durch Kurbeln, die auf die Achsen gestellt sind, während die Räder an denselben Achsen befestigt werden, oder durch Verbindung der Kolbenstangen mit den Rädern, wie in der Fig. 55 dargestellten Maschine. Bei einigen Wagen sind der Kessel und die bewegende Kraft, so wie der Wagen für die Reisenden, auf dieselben Räder gestellt; bei andern aber steht die Maschine auf einem besondern Wagen und zieht den für die Reisenden bestimmten Wagen nach sich, wie immer auf Eisenbahnen.

Der Hauptunterschied zwischen den Dampfmaschinen auf Eisenbahnen und den für Wagen auf Heerstraßen eingerichteten, besteht in dem Bau des Kessels. Es ist hier wesentlich, daß der Kessel, während die Kraft unvermindert bleibt, leichter und kleiner sei. Man hat zur Erreichung dieses Zweckes verschiedene Mittel versucht, das Wasser so zu vertheilen, daß eine mit ihm in Berührung stehende beträchtliche Oberfläche der Wirkung des Feuers ausgesetzt werde. Es wurde in dünnen Schichten auf flachen Platten ausgebreitet, oder zwischen Eisenplatten, die

sich in geringer Entfernung von einander befanden, während das Feuer zwischen ihnen wirkte, oder in kleine Röhren vertheilt, um welche das Feuer spielte, oder in Cylinder, die in einander gestellt waren.

105.

In der Geschichte der Anwendung der Dampfkraft als eines Fortschaffungsmittels auf Heerstraßen steht der Name Goldsworthy Gurney, eines Arztes und Chemikers in Cornwall, obenan. Einige Versuche, die er seit 1822 über die Wärme angestellt hatte, lenkten seine Aufmerksamkeit auf den Plan, Dampfmaschinen auf Heerstraßen anzuwenden, und seit 1825 war er bemüht, eine Dampfmaschine zu bauen, welche zur Erreichung seines Zweckes dienen konnte. Viele andere folgten ihm nach. Ob sie oder sonst jemand durch glücklichern Erfolg, durch größere Begünstigung des Publikums oder durch höhere Geisteskraft ihm auf der betretenen Bahn zuvorkommen werden, läßt sich jetzt nicht leicht voraussagen. Was aber auch der Erfolg sein möge, Gurney gebührt die Ehre, daß er zuerst die Ausführbarkeit des Gedankens dargethan hat.

Die Ungläubigkeit, der Widerspruch und selbst die Verspottung, die Gurney's Plan fand, waren höchst merkwürdig. Alle kunstverständigen Werkmeister traten seinen Ansichten sogleich entgegen. Die geistige Beschränktheit, die zuweilen durch eine hauptsächlich, ja ausschließend auf einen bloß praktischen Zweck gerichtete Bildung hervorgebracht und später durch bloß praktische Bestrebungen unterhalten wird, erklärt einigermaßen diese Erscheinung. Aber ich gestehe, mit Befremden habe ich in den letzten zehn Jahren die gänzliche Ungläubigkeit bemerkt, die unter Männern von wissenschaftlicher Bildung herrschte, eine Ungläubigkeit, welche selbst durch die unzweideutigste praktische Bewährung kaum entfernt worden ist. „Unter den wissenschaftlich gebildeten Männern, sagt Gurney, hat meine Meinung niemand begünstigt, als allein der verstorbene Dr. Wollaston."

Auch Gurney war von der falschen Ansicht befangen,

welche so lange hinsichtlich der Anwendung von Dampfwagen auf Eisenbahnen verbreitet gewesen ist und, wie wir gezeigt haben, die Fortschritte der Erfindung wesentlich aufgehalten hat. Ohne die Frage durch Versuche zu entscheiden, nahm er bei seinen ersten Arbeiten für ausgemacht an, daß die Adhäsion der Räder auf einer Heerstraße zu gering sei, um einen Wagen forttreiben zu können. Ausgezeichnete Kunstverständige versicherten ihm, wie er sagt, daß dieß durch wirkliche Versuche ausgemittelt sei. Es ist aber auffallend, daß ein so einsichtiger und scharfsinniger Mann sich nicht genauer nach den angeblichen wirklichen Versuchen erkundigte. Genug, er nahm es als entschieden an, daß die Räder nicht im Stande wären, den Wagen fortzutreiben, und verschwendete viel Mühe und Geschicklichkeit, Hebel und forttreibende Vorrichtungen zu erfinden, die auf den Boden ungefähr wie Pferdefüße wirkten, um den Wagen fortzutreiben. Nach mehren fruchtlosen Versuchen dieser Art brachte ihn die dabei erlangte Erfahrung zur Erkenntniß der Wahrheit, und er fand, daß die Adhäsion der Räder nicht nur hinlänglich war, einen schwer beladenen Wagen auf einer ebenen Straße fortzutreiben, sondern auch fähig, ihn über alle Anhöhen zu führen, die auf gewöhnlichen Heerstraßen vorkommen.

Es würde meinem Zwecke fremd sein, alle Schritte, welche allmälig zu einer Verbesserung seiner Erfindung führten, umständlich anzugeben. Sie ist, wie andere Erfindungen, nach mehren Fehlschlagungen weiter gekommen, hat aber endlich den Punkt erreicht, wo sie allein durch eine umfassendere praktische Anwendung zu weiterer Vollkommenheit gelangen kann.

106.

Der Kessel der Maschine ist so eingerichtet, daß kein Theil desselben, in welchem Metall der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist, selbst die Stäbe des Rostes nicht ausgenommen, außer Berührung mit dem Wasser wäre. Bedenkt man, wie schnell die Wirkung eines heftigen Herdfeuers Metall zerstört, wenn nicht Wasser die Hitze abhält, sich anzuhäufen, so wird

man einsehen, wie vortheilhaft dieser Umstand ist. Ich habe gesehen, daß die Stäbe eines neuen, nie vorher gebrauchten Rostes auf einer einzigen Fahrt zwischen Liverpool und Manchester schmolzen, und der Erfinder einer anderen Form von Dampfwagen hat mir gestanden, daß seine Roststäbe, obgleich von ansehnlicher Stärke, nicht länger als eine Woche dauern würden. In Gurney's Kessel sind die Roststäbe selbst Röhren, die mit Wasser angefüllt sind, und bilden eigentlich einen Theil des Kessels. Dieser Kessel besteht aus drei starken metallenen Cylindern, die horizontal über einander liegen. Einen Vertikal-Durchschnitt gibt Fig. 62. Die Enden der drei Cylinder sind D H und I. In die Seite des untersten Cylinders D ist eine Reihe von Röhren eingelassen, die Fig. 63 im Grundrisse zeigt. Diese Röhren sind ein wenig aufwärts gerichtet, aus einem Grunde, den wir bald erklären werden. In dem Vertikal-Durchschnitte Fig. 62 kann nur eine dieser Röhren bei C sichtbar sein. Die anderen Enden dieser Röhren A sind mit eben so vielen aufrecht stehenden Röhren verbunden, von welcher E eine ist. Die oberen Enden G dieser aufrecht stehenden Röhren sind mit einer anderen Reihe von Röhren K in gleicher Anzahl in Verbindung, die von G ausgehen und, ein wenig aufwärts gerichtet, sich in dem zweiten Cylinder H endigen.

In der Ansicht des Kessels Fig. 64 sind die drei Cylinder mit denselben Buchstaben bezeichnet. Zwischen den Cylindern D und H befinden sich zwei Verbindungsröhren B und ähnliche zwischen den Cylindern H und I. Der Natur des Durchschnittes gemäß, können diese nur als eine einzige Röhre in Fig. 62 erscheinen. Aus dem oberen Theile des Cylinders I geht die Röhre N hervor, die der Maschine Dampf zuführt.

Man sieht, daß der Raum F auf allen Seiten von einem aus Röhren bestehenden Roste eingeschlossen ist, welcher mit den Cylindern D und H verbunden ist, die unter sich durch die Röhren B in Verbindung stehen. Es ergibt sich hieraus, daß Wasser, dem Cylinder I zugeführt, durch die Röhren hinabfließt und wenn es den Cylinder D und die Röhren C gefüllt hat, allmälig in B und E hinaufsteigt, und

endlich die Röhren K und den Cylinder H füllt. Die Roströhren CEK bilden den Feuerherd. Die Röhren C sind das Feuerlager, die Röhren E und K die Hinterwand und die Decke des Herdes. Die Feuerthüre sieht man bei M, Fig. 64. Der Flammenzug geht über die Röhren K, und Flamme und heiße Luft werden in den Rauchfang geführt. Der Theil der Hitze des brennenden Feuers, welcher in andern Herden die Roststäbe zerstört, wird hier verwendet, das in den Röhren C enthaltene Wasser zu erwärmen. Die ausstrahlende Wärme des Feuers wirkt auf die Röhren K, auf die Röhren E und theilweise auf die Cylinder D und H und die Röhren B. Der Zug der heißen Luft und der Flamme, der bei A in den Kanal geht, wirkt auf die Rückseite der Röhren E und die oberen Seiten der Röhren K und geht endlich in den Rauchfang über.

Wird das Wasser in den Röhren CEK erwärmt, so wird es spezifisch leichter als Wasser von geringerer Temperatur und erhält daher ein Streben aufwärts zu steigen. Es geht schnell in H über. Die kälteren Theile gehen mittlerweile hinab und die geneigte Lage der Röhren C und K begünstigt jenes Streben des erwärmten Wassers, so daß ein ungemein schneller Umlauf hervorgebracht wird, so bald das Feuer auf die Röhren zu wirken beginnt. Hat das Wasser eine so hohe Temperatur erlangt, daß schnell Dampf erzeugt wird, so werden in den das Feuer umgebenden Röhren stets Blasen gebildet, und wenn diese in den Röhren blieben, so würde die Wirkung des Feuers nicht nur den Dampf zersetzen, sondern auch die Röhren glühend machen, weil das Wasser nicht hindurchginge, um die Hitze zu entführen. Die geneigte Lage der Röhren verhindert diese nachtheilige Folge. Eine in den Röhren C oder K entstandene Dampfblase, welche das Streben hat, im Verhältnisse ihrer Leichtigkeit gegen das Wasser sich zu erheben, steigt nothwendig aufwärts in C nach A, in K nach H. Diese Bewegung des Dampfes aber wird unterstützt durch die schnelle Bewegung des Wassers, die stets in den Röhren statt findet, wie wir bereits erklärt haben; sonst wäre es möglich, daß ungeachtet der Leichtigkeit des Dampfes

gegen Wasser, eine Blase in der engen Röhre bleiben würde, ohne zu steigen. Ich hebe dieß besonders hervor, weil man das Verbrennen der Röhren, wie ich glaube irrig, dem Kessel zugeschrieben hat. Ich habe, um die Sache durch Erfahrung zu erproben, zwei Cylinder, wie D und H, durch Glasröhren verbunden, wie die mit CEK bezeichneten. Der schnelle und beständige Umlauf des Wassers wurde dadurch sichtbar. Es bildeten sich zwar Dampfblasen in den Röhren, aber sie gingen schnell in den oberen Cylinder über und stiegen zu der Oberfläche, so daß die Glasröhren nie eine höhere Temperatur erhielten, als das durch dieselben gehende Wasser hatte.

Dieß ist, meiner Meinung nach, der Hauptvorzug von Gurney's Kessel. Kein Theil des Metalles, woraus er besteht, kann eine höhere Temperatur erhalten, als das darin enthaltene Wasser, und diese Temperatur läßt sich, wie jeder sieht, mit der größten Genauigkeit regeln. Ich habe die Röhren dieses Kessels gesehen, während sie schon lange Zeit der Wirkung des Feuers ausgesetzt waren, und nie bemerkt, daß der Ruß, der sie bedeckte, geglüht hätte, was der Fall gewesen sein müßte, wenn die Röhre bis zu einem gewissen Grade wäre erhitzt worden. Da der Kessel in allen Theilen cylindrisch ist, so hat er diejenige Form, welche in mechanischer Hinsicht die größte Stärke gewährt und in gegebenen Dimensionen die größte Wassermenge enthält. Auch ist er frei von den durch ungleiche Ausdehnung entstehenden Mängeln, die so nachtheilig in röhrenförmigen Kesseln sind. Die Röhren C und K können sich frei nach ihrer Länge ausdehnen, ohne in ihren Fugen locker zu werden und ohne irgend einen Theil der Vorrichtung zu spannen. Die Röhren E, die kurz sind, können sich nur sehr wenig ausdehnen, und man sieht leicht, daß die langen Röhren, mit welchen sie verbunden sind, dadurch keine Spannung erleiden.

Verwandelt sich Wasser in Dampf, so wird jeder mit ihm verbundene fremdartige Stoff frei und auf den Boden des Gefäßes niedergeschlagen, in welchem das Wasser verdampft. Alle Kessel müssen daher von Zeit zu Zeit gereinigt werden, damit solche Niederschläge sich nicht als eine Rinde auf der in=

neren Oberfläche anhäufen *), und dieß ist, wie man einsieht, bei röhrenförmigen Kesseln mit besondern Schwierigkeiten verbunden. In dem Kessel, den wir hier betrachten, würde die aus dem Niederschlage entstandene Rinde sich in den Röhren C und K anhäufen und, wenn sie nicht weggeschafft würde, die Röhren endlich verstopfen, aber überdieß, da sie ein schlechter Wärmeleiter ist, die nachtheilige Wirkung haben, daß sie die Hitze bei dem Uebergange aus dem Feuer zu dem Wasser auffinge, wodurch das Metall der Röhre übermäßig erhitzt würde. Gurney, der dieß voraussah, fiel auf ein sinnreiches chemisches Mittel, die Anhäufung des Niederschlags zu verhüten, indem er zuweilen eine Säure in die Röhren goß, die sich mit dem Niederschlage verbinden und ihn wegschaffen mußte. Dieses Mittel war ganz wirksam, wiewohl die praktische Anwendung desselben in den Händen gewöhnlicher Maschinenwärter nicht ohne Schwierigkeiten war. Gurney ließ sich durch Wollaston bewegen, es beizubehalten, bis die Erfahrung ihm die Unmöglichkeit bewies, es bei der gewöhnlichen Benutzungsart der Kessel wirksam anzuwenden. Er ging dann zu einem einfacheren, aber nicht minder wirksamen Mittel über, den Niederschlag durch mechanische Vorkehrungen wegzuschaffen. Der Mündung der Röhren gegenüber und auf der anderen Seite der Cylinder D und H werden mehre Löcher angebracht, welche, wenn der Kessel gebraucht wird, durch Metallschrauben verstopft werden. Bei der Reinigung der Röhren zieht man die Schrauben heraus und bringt durch die Löcher einen eisernen Kratzer in die Röhren, welcher, rückwärts und vorwärts geschoben, den Niederschlag wegräumt. Auf diese Weise kann ein gewöhnlicher Tagelöhner den Kessel reinigen. Die Zeit, in welcher ein Kessel dieser Art der Rei-

*) Außer besondern Vorkehrungen bei der Einrichtung des Kessels, sucht man die Anhäufung des Bodensatzes, der gewöhnlich aus kohlensaurem Kalk und zuweilen auch Kochsalz besteht, dadurch zu verhüten, daß man gekochte oder zerquetschte Kartoffeln oder die Abfälle von Malz in den Kessel wirft. Andre haben als das wirksamste Mittel einen Zusatz von gröblich gepulverter Holzkohle vorgeschlagen.

nigung bedarf, wird großentheils durch die Beschaffenheit des gebrauchten Wassers bedingt. Selbst bei dem Gebrauche des schlechtesten Wassers ist es, wie Gurney versichert, hinlänglich, den Kessel alle vierzehn Tage zu reinigen.

107.

In den später gebauten Kesseln hat Gurney den Zug auf dem Feuerherde durch die Art bewirkt, wie er den überflüssigen Dampf in den Rauchfang treibt. Diese Vorrichtung hat sich vollkommen wirksam bewiesen, und man hat gegen ihre Anwendung in Dampfwagen auf Heerstraßen nur den Einwurf gemacht, daß sie durch das Geräusch, welches sie hervorbringt, Pferde scheu machen würde.

In den Dampfmaschinen auf der Liverpool-Bahn geht der Dampf durch die Ausleerungsröhre des Cylinders gerade in den Rauchfang, indem er mit der abwechselnden Bewegung des Kolbens stoßweise entweicht und ein Geräusch hervorgebracht wird, das auf einer Eisenbahn keine Unbequemlichkeit verursacht, auf Heerstraßen jedoch gewiß bedenklich sein würde. In Gurney's Maschine wird der aus den Cylindern entweichende Dampf in ein Behältniß geführt, welches er Blasekasten nennt, der zu demselben Zwecke dient, wie die obere Abtheilung eines großen Blasebalgs. Er empfängt den Dampf aus den Cylindern in einzelnen Stößen, läßt ihn aber in einem stetigen Strome durch viele kleine Röhren in den Rauchfang entweichen. Auf diese Weise wird ein regelmäßiger Luftzug bewirkt und kein Geräusch bemerkt. Auch hat der Dampf noch einen andern Ausgang, so daß der Führer des Wagens im Stande ist, den Zug des Rauchfangs zu verstärken oder zu vermindern oder auch ganz zu hemmen, um die Stärke des Feuers nach der Beschaffenheit der Straße zu bestimmen. Dieß ist in der Praxis eine große Bequemlichkeit, weil es auf einigen Straßen kaum nöthig ist, das Herdfeuer durch Luftzug zu verstärken, auf andern aber ein sehr heftiges Feuer unentbehrlich ist.

Mit jenem Blasekasten ist eine andere praktisch wichtige Vorrichtung verbunden. Die Röhre, durch welche das den

Kessel speisende Wasser aus dem Behälter ihm zugeführt wird, läuft in Windungen durch den Blasekasten, so daß ein langer Faden des Speisewassers der Hitze des aus dem Cylinder entweichenden und in dem Kasten eingeschlossenen Dampfes ausgesetzt ist. Im Durchgange durch diese Röhre wird das Wasser von 12° auf 80° R. erwärmt. Die Feuerungsmittel, die nöthig sein würden, dieß zu bewirken, werden daher erspart, und man berechnet, daß dieß $\frac{1}{6}$ der zur Verdampfung des Wassers erfoderlichen Feuerung beträgt. Noch wichtiger aber in einem Dampfwagen ist es, daß ein Theil des Gewichts der Maschine erspart wird, ohne ihr dadurch etwas von ihrer Kraft zu entziehen. Während das Wasser in der oben beschriebenen wurmförmigen Röhre die Wärme des in dem Blasekasten enthaltenen Dampfes aufnimmt, condensirt es $\frac{1}{6}$ des überflüssigen Dampfes, welches dann von hier in den Wasserbehälter geführt wird, so daß man auf diese Weise $\frac{1}{6}$ an Gewicht und Raum des Wassers erspart, das auf dem Wagen zur Speisung des Kessels geführt werden muß *).

Die Erfahrung hat bewiesen, daß diese Vorrichtung alle Nachtheile verhütet, die durch Geräusch entstehen könnten.

In allen Kesseln verursacht die heftige Aufwallung bei dem Sieden eine Bewegung im Wasser und viele Gegenströmungen, durch welche der Dampf, wenn er auf der Oberfläche des Wassers frei wird, einen ansehnlichen Theil des Wassers in mechanischer Mischung mit sich wegnimmt. Geht dieses Wasser, das keine der Eigenschaften des Dampfes besitzt, und die Kraft des Dampfes, mit welchem es sich vermischt, nicht verstärkt, durch die Cylinder, so wird sehr viel Hitze und Wasser verschwendet,

---

*) In Kesseln für stehende Maschinen oder für Dampfschiffe wird die Dampfröhre, nachdem sie durch den Blasekasten gegangen ist, fortgesetzt und läuft in mehren Windungen über den Kessel, um die überflüssige Hitze nach dem Durchgange durch den Kessel und ehe sie den Rauchfang erreicht, aufzunehmen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Dampfwagen auf Heerstraßen die durch die überflüssige Hitze gewonnene Kraft nicht hinlänglich ist, das Gewicht der Kohlen fortzuschaffen, die nöthig sind, sie zu unterhalten.

und es entstehen andere nachtheilige Wirkungen. In jedem Kessel müssen daher Vorkehrungen gemacht werden, um das in dem Dampfe enthaltene Wasser abzuscheiden, ehe der Dampf in den Cylinder übergeht. In gewöhnlichen aus Metallplatten bestehenden Kesseln dient der über der Oberfläche des Wassers befindliche große Raum, der Dampfraum, zu diesem Zwecke. Der Dampf wird hier nicht bewegt oder gestört, das mit demselben mechanisch vermischte Wasser fällt daher vermöge seiner Schwere, und im oberen Theile bleibt der reine Dampf zurück. In den kleinen röhrenförmigen Kesseln aber hat die Sache größere Schwierigkeit gehabt. Die engen Räume, in welchen das Sieden hier statt findet, sind Ursache, daß sich mehr Wasser mit dem Dampfe vermischt, als in gewöhnlichen Kesseln stattt finden würde, und der Mangel eines Dampfraums macht die Absonderung des Wassers von dem Dampfe etwas schwierig. Man hat diese Nachtheile durch mehre sehr sinnreiche Erfindungen besiegt. Ich habe bereits den durch die Einrichtung der Röhren bewirkten schnellen und regelmäßigen Umlauf des Dampfes beschrieben. Die Regelmäßigkeit der Dampfströmungen in diesen Röhren vermindert allein schon die Vermischung des Wassers mit dem Dampfe. Dazu kommt noch das wirksame Absonderungsmittel, das der Kessel I gewährt, ein ziemlich großer eiserner Cylinder, der außer dem unmittelbaren Einflusse des Feuers angebracht ist. Der Dampf wird zum Theil schon in dem Cylinder H von dem Wasser abgesondert, und der mit dem Wasser mechanisch vermischte Dampf, der sogenannte feuchte Dampf, geht in den Absonderungs-Cylinder I über. Hier, wo der Dampf gleichsam in ruhendem Zustande ist, fallen die Wassertheilchen nieder, und der reine Dampf bleibt in dem oberen Theile des Cylinders. Dieser Absonderungs-Cylinder vertritt daher völlig die Stelle des Dampfraums über der Oberfläche des Wassers in den großen Kesseln. Der trockne Dampf wird gesammelt, um durch die Röhre N zum Treiben der Maschine ausgeleert zu werden, während das auf dem Boden gesammelte Wasser durch die Röhre T in den untersten Cylinder D geführt wird, um wieder durch den Kessel seinen Umlauf zu machen.

Die Kolben der Maschine wirken auf die Achsen der Hinterräder des Wagens, welche die Maschine tragen, mittels Kurbeln, wie bei den Dampfwagen auf der Liverpool-Bahn, so daß die Achse sich stets umdreht, während die Maschine arbeitet. Die auf der Achse befindlichen Räder sind nicht beständig an derselben befestigt, wie bei den Eisenbahn-Wagen, sondern können sich auf ihr umdrehen, wie gewöhnliche Wagenräder. In den Rädern sind unmittelbar auf den Achsen zwei hervorragende Hebel befestigt, die sich mit der Achse drehen und die Stellung zweier entgegengesetzten Radspeichen haben. Sie können bald an das Rad befestigt, bald weggenommen werden, so daß sie nach dem Belieben des Wagenführers die Räder treiben, sich mit der Achse zu bewegen, oder der Achse die Freiheit lassen, sich unabhängig von dem Rade, oder dem Rade, sich unabhängig von der Achse umzudrehen. Die Maschine kann mittels dieser Hebel ein Rad oder beide treiben. Werden beide Hebel mit den Rädern in Verbindung gebracht, so bringt die Kurbelstange beide Räder zum Umdrehen, und in diesem Falle tritt dieselbe Wirkung ein, die wir bei den Dampfwagen auf der Liverpool-Bahn sehen. Selten aber ist dieß nöthig, da die Adhäsion eines Rades mit der Straße gewöhnlich hinreichend ist, den Wagen fortzutreiben. Der Wagen wird meist nur durch eines der beiden Hinterräder getrieben. Die Vorderräder drehen sich wie gewöhnliche Wagenräder. Die Stellung dieser Räder kann von dem Wagenführer nach Belieben mittels einer einfachen Vorrichtung verändert werden, und so wird der Wagen stets mit Genauigkeit und Leichtigkeit geführt.

Die zur Forttreibung eines Wagens auf gewöhnlichen Straßen nöthige Zugkraft verändert sich nach der Beschaffenheit der Straße, und daher ist auch der Druck auf die Kolben der Maschine einer Veränderung unterworfen. Noch mehr Veränderungen aber bewirken die Unebenheiten der Heerstraßen. Die unvermeidliche Veränderung in der Stärke der treibenden Kraft wird erlangt, wenn der Dampf in dem Kessel mittels des Regulator-Ventils geregelt wird, wie wir bereits bei der Beschreibung der Dampfwagen auf Eisenbahnen angegeben haben. In dem vorliegenden Falle aber geht man weiter. Der Dampf

in dem Kessel kann zu einem Drucke von 100 bis 200 Pfund auf den Quadratzoll gespannt werden, wogegen der Druck auf den Kolben nicht über 30 bis 40 Pfund steigen darf. So steht dem Wagenführer stets eine unermeßliche Dampfkraft zu Gebote, und ist ein Hügel zu übersteigen oder wird der Weg rauh, so kann er die Kraft erlangen, die er braucht, um die Schwierigkeiten zu besiegen.

Zwei Schwierigkeiten gibt es, welche man bei der Anwendung von Dampfwagen auf Heerstraßen immer gefürchtet hat, erstens die Erlangung hinlänglicher Kraft, um über Anhöhen und rauhe Straßenstrecken zu kommen, und zweitens die vermeinte Unzulänglichkeit der Adhäsion der Räder auf Heerstraßen. Die erste dieser Schwierigkeiten hat man dadurch zu überwinden gesucht, daß man stets einen Dampf von sehr hohem Drucke mit vollkommener Sicherheit im Kessel unterhielt. Was die andere Schwierigkeit betrifft, so haben alle Versuche gezeigt, es sei kein Grund zu der Voraussetzung, daß die Adhäsion der Räder unzureichend zum Forttreiben sei. Gurney fuhr mit seinem Dampfwagen über bedeutende Anhöhen auf den Straßen um London.

Ein doppelter Kolbenhub bewirkt eine Umdrehung der treibenden Räder, und nöthigt den Wagen, sich über einen Raum zu bewegen, der dem Umfange der Räder gleich ist. Es ist daher klar, daß, je größer der Durchmesser der Räder ist, der Wagen desto besser zu geschwinder Fortschaffung paßt, wogegen Räder von kleinerem Durchmesser besser für Kraftwirkung passen. Die von der Maschine auf die Räder ausgeübte forttreibende Kraft steht im umgekehrten Verhältnisse mit dem Durchmesser der Räder. Bei Wagen, die bestimmt sind, schwere Lasten mit mäßiger Geschwindigkeit fortzuschaffen, wird man kleinere Räder anwenden, wogegen bei denjenigen, welche Reisende mit bedeutender Schnelligkeit fortschaffen sollen, Räder von wenigstens 5 Fuß Durchmesser die vortheilhaftesten sind.

Unter den vielen Vorurtheilen, zu welchen die neue Erfindung Anlaß gegeben hat, ist in seinen Wirkungen das nachtheiligste und in seiner Falschheit das auffallendste, die Meinung, daß Dampfwagen den Straßen schädlicher seien als die

von Pferden gezogenen Wagen. Dieser Irrthum ist in dem Berichte des zur Untersuchung der Dampfwagen-Angelegenheiten ernannten Ausschusses des britischen Unterhauses klar und gründlich aufgedeckt worden. Es wird darin einleuchtend dargethan, daß Dampfwagen eine Straße nicht schneller verderben als gewöhnliche Wagen, sondern daß die Füße der Pferde eine Straße schneller zerstören, als die Wagenräder. Dampfwagen können breite Felgenkränze haben und wirken daher auf die Straße wie Walzen, wodurch die Oberfläche derselben Festigkeit erlangt. Die treibenden Räder, die erweislich nicht auf der Straße gleiten, wirken nicht nachtheiliger als die gewöhnlichen rollenden Räder, daher wird die Straße durch Dampfwagen nicht mehr abgenutzt, als durch gewöhnliche Wagen; aber die durch die stampfenden und aufwühlenden Pferdefüße verursachte Abnutzung der Straße ist oft weit bedeutender als die zerstörende Wirkung der Wagenräder. In dem angeführten Berichte ist es erwiesen, daß die Einführung von Dampfwagen wesentlich zur Erhaltung der Landstraßen beitragen wird und daß Reisende dadurch ebenso viel ersparen werden, als sie an Vortheilen schneller Fortschaffung gewinnen.

Man hat das Gewicht der bei Dampfwagen nöthigen Maschinerie zuweilen als einen Einwurf gegen ihre praktische Nützlichkeit angewendet. Gurney behauptet, es lasse sich durch Verbesserung der Maschinerie das Gewicht seiner Wagen, ohne ihre forttreibende Kraft zu schwächen, auf 35 Centner herabsetzen, mit Ausnahme der Ladung, der Feuerungsmittel und des Wassers; aber er glaubt das Gewicht noch mehr vermindern zu können.

Ein von Gurney gebauter Dampfwagen, der 8 Stunden geht, verrichtet nach seiner Angabe das Werk von ungefähr 30 Pferden. Er berechnet, daß das Gewicht seines forttreibenden Wagens, der 18 Personen ziehen kann, dem Gewichte von 4 Pferden gleich, und der Wagen, in welchem die Reisenden sitzen, eben so schwer als ein gewöhnlicher sei, der dieselbe Personenzahl fassen könne. Die ganze Vorrichtung des forttreibenden Wagens und des Personenwagens würde daher so schwer sein, als eine gewöhnliche Postkutsche mit 4 Pferden.

108.

Dampfwagen werden zur Fortschaffung von Personen oder Gütern auf gewöhnlichen Straßen in doppelter Art benutzt, entweder trägt der Wagen die Last, oder er zieht sie, und man hat bald die eine, bald die andere Weise versucht. Jede hat ihre Vortheile und Nachtheile. Trägt derselbe Wagen die Maschine und die Ladung, so wird das Gewicht des Ganzen im Verhältniß zu der Ladung geringer sein, und es kann ein größerer Druck auf die Räder hervorgebracht werden, um die Ladung fortzutreiben. Auch glaubt man, es lasse sich eine größere Leichtigkeit in der Wendung und Leitung des Fuhrwerks, eine größere Sicherheit in dem Hinabfahren von Anhöhen und eine Ersparung am Anlage-Kapital dadurch erlangen. Dagegen werden die Reisenden, wenn sie sich mit der Maschine auf demselben Wagen befinden, durch das Geräusch der Maschinerie und durch die Hitze des Kessels und des Herdes belästigt. Die Gefahr einer Explosion ist zwar so gering, daß sie vielleicht kaum Erwähnung verdient, aber selbst die Furcht vor einer Gefahr, sei sie auch ungegründet, sollte nicht unbeachtet bleiben. Diese Besorgniß wird offenbar gehoben oder vermindert, wenn die Reisenden in einem von der Dampfmaschine abgesonderten Wagen sitzen; der größte Vortheil einer solchen Absonderung aber ist, daß es dadurch erleichtert wird, eine Maschine mit einer andern zu vertauschen, wenn unterwegs ein Unfall oder eine Störung eintritt, und wofern ein solcher Unfall an einem Orte einträte, wo keine neue Maschine zu haben wäre, so könnten die Reisenden durch Pferde weiter geschafft werden, bis ein anderer Dampfwagen erlangt würde. Auch darin liegt ein Vortheil, daß die Wagen für Reisende, wenn die Maschinen ausgebessert oder gereinigt werden müssen, nicht müssig zu bleiben brauchen. Es ist nicht dieselbe Zahl von Wagen für Reisende nothwendig, wenn die Maschine gebraucht wird, sie zu ziehen, als wenn man den Dampfwagen benutzt, sie zu tragen.

Wird eine sehr starke Dampfmaschine gebraucht, schwere Ladungen fortzuschaffen, so würde es unausführbar sein, die Maschine und die Ladung auf vier Räder zu stellen, da der

Druck so bedeutend sein würde, daß keine Heerstraße ihn tragen könnte. In diesem Falle wird es unumgänglich nöthig sein, wenigstens einen Theil der Ladung auf besondere Wagen zu legen, um von der Maschine gezogen zu werden.

Vergleicht man Dampfwagen mit gewöhnlichen Wagen, so ist kein Vortheil, den jene geben, einleuchtender, als die Sicherheit, die sie dem Reisenden gewähren. Die Dampfkraft steht vollkommen in unserer Gewalt und ein Dampfwagen läßt sich mit bewundernswürdiger Genauigkeit lenken. Man kann ihn plötzlich zum Stillstehen bringen, wie groß auch die Schnelligkeit der Bewegung sei; er läßt sich in einem kleineren Raume wenden, als für einen vierspännigen Wagen nöthig ist. Bei Wendungen um scharfe Ecken ist keine Gefahr, wenn der Wagenführer nur die gewöhnlichste Sorgfalt anwendet. Dagegegen hat man Pferde weit weniger in der Gewalt, zumal bei der Schnelligkeit, die jetzt der Reiche für nothwendig hält. „Die Gefahr, daß die Pferde durchgehen und der Wagen umgeworfen werde — sagt Farey in dem Gutachten, das er dem Ausschusse des Unterhauses gab — wird bei einem Dampfwagen sehr vermindert. Es ist ungemein schwer, vier solche Pferde zu lenken, die eine schwere Postkutsche zehn englische Meilen in einer Stunde ziehen können, wenn sie scheu werden oder durchgehen, und bei so schnellem Fahren müssen sie so munter erhalten werden, daß sie immer Lust haben durchzugehen, zumal bergab und bei scharfen Krümmungen der Straße. Dampfkraft hingegen hat wenig Gefahr, da man sie vollkommen in der Gewalt hat und hemmen kann, wenn es bergab geht. Nur bei großer Nachlässigkeit kann ein Dampfwagen umgeworfen werden. Die Möglichkeit, daß der Wagen breche, wird nicht größer als in Postkutschen sein, wenn gehörige Sorgfalt angewendet wird. Die Gefahr des Zerspringens des Kessels ist die einzige neue Gefahr, die bei den Dampfwagen eintritt, und diese scheint sich mit der Gefahr, welcher man bei Pferden ausgesetzt ist, nicht vergleichen zu lassen.“

Wie gering die Gefahr des Zerspringens sei, wenn sie wirklich vorhanden ist, beweist die Thatsache, daß die Kessel der Dampfwagen auf der Liverpool-Bahn, die größer und nicht

so stark als Gurney's Maschinen sind, nie verderbliche Wirkungen durch Explosion gehabt haben, wiewohl sie oft gesprungen sind. Ich stand nahe bei einem Dampfwagen, als der Kessel sprang. Es hatte weiter keine Wirkung, als daß das Wasser durch die Röhren in das Feuer lief und es auslöschte.

In Fig. 65 sehen wir Gurney's Dampfwagen, der einen Wagen für Reisende nach sich zieht.

109.

Eine der größten Schwierigkeiten, welche Dampfwagen auf Heerstraßen zu überwinden haben, ist die Fahrt über sehr steile Anhöhen; denn man gibt allgemein zu, daß mäßige Anhöhen keine bedeutenden Schwierigkeiten darbieten, selbst bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse. Die Thatsache, daß Gurney mit seinem Wagen über die Anhöhe Old Highgate, die an einem Punkte 1 in 9 Fuß Steigung hat, gekommen ist, zu einer Zeit, wo sein Dampfwagen noch sehr unvollkommen war, entscheidet die Frage über die Möglichkeit, jene Schwierigkeit zu überwinden. Es bleibt jedoch noch zu entscheiden, ob die Unbequemlichkeit, welche mit der Auffindung von Mitteln, den Schwierigkeiten bei steilen Steigungen zu begegnen, verbunden sind, nicht größer sei als der Vortheil, sie überwinden zu können. Farey, dessen Meinung hier großes Gewicht hat, glaubt, daß es im Ganzen vortheilhafter sei, auf sehr steilen Anhöhen Postpferde zur Unterstützung des Dampfwagens zu nehmen, als sich der Unbequemlichkeit auszusetzen, für selten vorkommende Fälle die nöthige Kraft und Stärke der Maschinerie sich zu verschaffen. Kommt es bloß darauf an, eine bewegende Kraft zu erlangen, so scheint es mir, daß Gurney's Kessel völlig hinreichend sein würde alles zu leisten, was erfoderlich wäre, um über irgend eine Anhöhe auf einer Heerstraße zu gelangen, aber man darf nicht vergessen, daß nicht bloß ein reichlicher Vorrath von bewegender Kraft, sondern auch eine Stärke und ein Gewicht der Maschinerie, die in Verhältniß mit der auszuübenden Kraft stehen, unentbehrlich sind. Die Stärke und das Gewicht, die

nöthig sind, um sehr steile Anhöhen zu befahren, sind weit größer als man sie auf einer ebenen Straße oder bei geringen Höhen braucht, und es folgt daraus, daß, wenn wir über solche steile Hügel durch die bloße Kraft des Dampfwagens gelangen, die Maschine mit der ganzen Last der Maschinerie beladen werden muß, die für solche Nothfälle erfoderlich ist, während eine solche Zusatzlast auf allen andern Theilen der Bahn gar nicht gebraucht wird und daher hindert, in so fern dadurch ein gleiches Gewicht an Gütern ausgeschlossen wird, die man sonst hätte fortschaffen können. Es ist jedoch zu bemerken, daß über diesen Punkt abweichende Meinungen unter den Kunstverständigen herrschen und einige es für ausführbar halten, eine Maschine ohne unbequemes Gewicht zu bauen, die über alle Anhöhen auf einer Heerstraße gelangen könnte.

Wie dem auch sein möge, die Schwierigkeit ist von der Art, daß sie bei dem in England befolgten verbesserten Straßenbau-System verhältnißmäßig unbedeutend ist. Müßte man bei Anhöhen, welche die Dampfmaschine nicht überwinden kann, Pferde zu Hilfe nehmen, so würde ein solcher Beistand höchstens dreimal auf den Heerstraßen zwischen London und Holyhead nöthig sein und dasselbe gilt von andern Straßen, auf welchem lebhafter Verkehr ist. Ich theile daher Farey's Meinung, daß es wenigstens für jetzt besser sein werde, Wagen zu bauen, die geeignet sind, ohne Beistand über mäßige Anhöhen zu gelangen, und Postpferde zu nehmen, wenn dieß nicht möglich ist.

110.

In dem Kessel, der in dem von Walter Hancock angegebenen Dampfwagen gebraucht wird, geschieht die Theilung des Wassers auf die Art, daß ein Behältniß durch dünne Metallplatten abgetheilt ist und das Wasser überall zwischen einem Plattenpaar fließt, wie bei E (Fig. 66), und die Zwischenräume H die Kanäle bilden, durch welche die Flamme und die heiße Luft fortgetrieben werden.

Mehre dünne Wasserschichten sind hier auf beiden Seiten der stärksten Wirkung der Flamme und der heißen Luft ausge-

setzt, so daß Dampf von hohem Druck reichlich und schnell erzeugt wird. Die Platten, die den Kessel bilden, sind durch starke eiserne Klammern verbunden, die sich über den Kessel erstrecken, wie Fig. 66 zeigt. Die Entfernung zwischen den Platten beträgt zwei Zoll. Es gibt zehn flache Wasserkammern dieser Art, und zwischen ihnen zehn Feuerzüge. Unter den Zügen ist der Feuerherd oder Rost, wo 6 Quadratfuß Kohlen hell brennen. Die Kammern sind alle bis auf $\frac{2}{3}$ ihrer Tiefe mit Wasser gefüllt, und das andere Drittheil ist der Dampfraum. Die Wasserkammern sind in der ganzen Reihe an dem oberen Theile und dem Boden mit einander verbunden und werden durch zwei große Riegel zusammengehalten. Nimmt man diese Riegel weg, so fallen die Kammern aus einander, und schraubt man sie zusammen, so werden sie wieder fest vereinigt. Eine Pumpe führt das Wasser dem Kessel zu, und der Dampf geht aus dem Mittelpunkt eines der Kanäle am obern Theile.

Die Kessel sind so eingerichtet, daß sie einen Druck von 400 bis 500 Pfund auf den Quadratzoll aushalten können; aber der durchschnittliche Druck des Dampfes auf das Sicherheits-Ventil ist 60 bis 100 auf den Quadratzoll. Es sind 100 Quadratfuß Oberfläche in Berührung mit dem Wasser, das dem Feuer ausgesetzt ist. Ein solcher Dampfwagen legt 8 englische Meilen zurück, ehe frische Vorräthe von Kohlen und Wasser eingenommen werden. Er braucht gegen 2 Bushel (168 Pfund) entschwefelte Kohlen auf eine solche Station.

Hancock's Dampfwagen unterscheidet sich dadurch von Gurney's Maschine, daß in jenem die Reisenden und die Maschine sich auf einem und demselben Wagen befinden. Der Kessel ist hinter dem Wagen. Ein Maschinenhaus befindet sich zwischen dem Kessel und den Reisenden, die auf dem vorderen Theile des Wagens sitzen, so daß die ganze Maschinerie hinter ihnen ist. Die Wagen haben Platz für 14 Reisende, und wiegen außer ihrem eigenen Gewichte, gegen $3\frac{1}{2}$ Tonnen. Die Radfelgen sind $3\frac{1}{2}$ Zoll breit. Hancock behauptet, die Einrichtung seines Kessels sei von der Art, daß selbst bei dem Zerspringen desselben keine Gefahr zu fürchten sei, noch auch

ein anderer Nachtheil als eine Hemmung des Wagens. Nach seiner Angabe kam der Wagen, während er 9 engl. Meilen in einer Stunde zurücklegte und mit einem Druck von ungefähr 100 Pfund auf den Quadratzoll wirkte, plötzlich zum Stillstehen. Anfänglich bemerkte man die Ursache der Hemmung nicht, als man aber einen der Hähne des Kessels öffnete, fand sich, daß weder Dampf noch Wasser darin war. Bei weiterer Untersuchung sah man, daß der Kessel gesprungen war. Als man die Schrauben der Riegel löste, zeigten sich in den Wänden der Wasserkammer mehre große Oeffnungen, durch welche das Wasser in das Feuer geflossen war, aber man hatte weder Geräusch noch eine Explosion bemerkt, und der Unfall hatte sonst keine gefährlichen Folgen.

Dieser Kessel hat einige auffallende Mängel. Es ist offenbar, daß die dünnen flachen Platten diejenige Form sind, welche, mechanisch betrachtet, die geringste Stärke gewähren, und wie es scheint, wird auch kein wesentlicher Vortheil gewonnen, der durch die Vergrößerung der dem Feuer ausgesetzten Oberfläche Ersatz geben könnte. Es ist ein großer Mangel, daß ein Theil der Oberfläche jeder Platte der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist, während er nicht in Berührung mit dem Wasser ist. In dem oberen Theile der mit E (Fig. 66) bezeichneten Räume ist nur Dampf enthalten. Kunstverständige haben bemerkt, und Versuche bestätigen es, daß, wenn Dampf auf der Oberfläche des Wassers erhitzt wird, er sich zersetzt und seine Elasticität verliert, dieß aber ist nicht der einzige Nachtheil, der mit jener Einrichtung des Kessels verbunden ist; denn auf diesen Theil des Metalls wirkt dennoch das Feuer, zwar mit geringerer Stärke, als auf denjenigen, der das Wasser enthält, aber doch so stark, daß das Metall dadurch zerstört wird. Hancock suchte, wie es scheint, diesem Mangel dadurch abzuhelfen, daß er den flachen Wasserkammern eine veränderte Stellung gab, indem er die unteren auf die Stelle der oberen brachte und umgekehrt. Dieß mochte zu einer gleichförmigen Abnutzung der nicht vom Wasser berührten Platten durch die Wirkung des Feuers führen, aber das Ganze wurde darum nicht minder schnell zerstört. Es

scheint keine Vorkehrung zur Absonderung des Dampfes von dem mit ihm vermischten Wassen vorhanden zu sein, und wirklich hat diese Maschine nichts, was die Stelle des Absonderungs-Behältnisses in Gurney's Dampfwagen vertreten könnte. Es muß dadurch viel Kraft ungenutzt verloren gehen.

Die Roststäbe sind einer so starken Hitze ausgesetzt, daß sie in einer stets gebrauchten Maschine kaum eine Woche dauern. Der Zug auf dem Herde wird durch ein von der Maschine in Bewegung gesetztes Gebläse bewirkt. Dieß ist vielleicht der größte Mangel dieser Maschine. Die Kraft, welche zur Bewegung dieser Vorrichtung gebraucht und der Maschine entzogen wird, ist sehr bedeutend. Hancock hat die auf den Achsen angebrachten Kurbeln aufgegeben und dafür eine Kette ohne Ende und Zahnräder eingeführt. Auch dieß halte ich für einen Mangel und für die Ursache eines großen Kraftverlustes, wiewohl dadurch freilich die Schwächung der Achse, welche die Kurbeln immer bewirken, vermieden wird.

111.

Nathanael Ogle erhielt ein Patent auf einen Dampfwagen und machte einige Zeit Versuche mit seiner Erfindung; da er aber seine Bemühungen aufgegeben zu haben scheint, so vermuthe ich, daß es ihm nicht gelungen ist, diejenigen Bedingungen zu erfüllen, ohne welche die Maschine nicht mit Ersparniß und Vortheil benutzt werden konnte. Nach den Angaben, die er dem Ausschusse des Unterhauses mittheilte, bestehen der Boden und der Obertheil des Kessels aus Queerstücken, die inwendig cylindrisch und auswärts viereckig sind. Durch diese Stücke gehen Löcher, und durch das Ganze zieht sich eine Luftröhre. Das innere Loch der unteren Oberfläche und das untere Loch der oberen sind etwas größer als die übrigen. Die Luftröhre umgibt ein kleiner Cylinder, dessen Rand die größere Oeffnung der inneren Oberfläche der unteren Vorrichtung und die untere Oberfläche der oberen umschließt. Beide werden durch Schrauben zusammengehalten. Die Querstücke werden durch Verbindungsstücke vereinigt, und das Ganze ist so fest verbunden, daß Hancock nach seiner Angabe in einem zehnmal kleinern

Raume und bei einem zehnmal geringern Gewichte dieselbe erhitzende Oberfläche und eben so viel Kraftwirkung, als durch andere Kessel mit niedrigem Drucke gewonnen werden kann, bei weit größerer Sicherheit erlangt. Der Kessel, mit welchem er seine Versuche anstellte, hatte eine erhitzende Oberfläche von 250 Fuß, in einem Raume, der 3 Fuß 8 Zoll hoch, 3 Fuß lang, 2 Fuß 4 Zoll breit und gegen 8 Centner schwer war. Er versorgte zwei Cylinder mit Dampf, welche durch ihre Kolben mit einer Kurbel-Achse verbunden waren, an deren einem Ende oder an beiden Räder befestigt waren, je nachdem es das Bedürfniß der Maschine verlangte. Ein Rad wurde hinlänglich befunden, außer unter sehr schwierigen Umständen und bei Steigungen von 1 in 6 Fuß. Die Cylinder, aus welchen der Kessel besteht, sind so klein, daß sie einen größeren Druck zu ertragen vermögen, als durch die Feuerung unter dem Kessel erlangt werden könnte, und wenn einer dieser Cylinder auf irgend eine Weise beschädigt werden sollte, so würde er bloß als ein Sicherheits-Ventil für die übrigen wirken. Selbst bei dem größten Drucke ist nach Hancock's Versicherung sein Kessel nie gesprungen und nach zwölfmonatlichen Gebrauche nie gereinigt worden.

112.

Dr. Church in Birmingham erhielt mehre Patente auf Erfindungen, die mit Dampfwagen für Heerstraßen in Verbindung standen. Es bildete sich ein Verein vermögender Männer in Birmingham, um Maschinen nach seinem Plane zu bauen. Sein Kessel ist von Kupfer. Das Wasser befindet sich zwischen zwei Kupferplatten, die durch kupferne Nägel verbunden sind, ungefähr in der Art, wie der obere Theil einer Matratze mit dem unteren. Diese Doppelplatten bilden einen länglichen rechtwinkeligen Kasten, dessen Inneres den Feuerherd und das Aschenloch enthält. Ueber dem Ende desselben befindet sich der Dampfkasten. Der unmittelbaren Wirkung des Feuers ist eine so große Oberfläche ausgesetzt, daß mit großer Schnelligkeit Dampf erzeugt wird.

Bei solchen Kesseln ist es sehr schwierig, den Niederschlag

wegzuräumen, der sich zwischen zwei so enge verbundenen Kupferplatten als Pfannenstein anhäufen muß. Church wollte ihn durch eine, sich leicht mit demselben verbindende Säure wegschaffen. Es ist das Mittel, welches Gurney auf Wollaston's Empfehlung gebrauchte; er hat jedoch nach seiner Versicherung gefunden, daß es bei der gewöhnlichen Benutzungsart der Kessel nicht anwendbar ist.

Auch fürchte ich, daß in den Räumen zwischen den Kupferplatten, welche den beschriebenen Kessel in Church's Maschine bilden, die entstehenden Dampfblasen nicht leicht genug entweichen können, und wenn sie in dem, der Wirkung des Feuers ausgesetzten Theile des Kessels zurückbleiben, so wird das Metall einen ungehörigen Grad von Hitze erhalten. Ich habe übrigens diesen Dampfwagen in Thätigkeit gesehen und seine Leistungen sehr befriedigend gefunden.

113.

Verschiedene andere Plane, Dampfwagen auf Heerstraßen anzuwenden, sind mehr oder weniger vorgeschritten, von welchen ich nur die von Maudslay und Field, Macerone und Russell in Edinburg entworfenen nenne; aber die mir gesteckten Gränzen erlauben mir nicht, in eine umständliche Beschreibung einzugehen.

Elfter Abschnitt.

Die Dampfschifffahrt.

114.

Unter den verschiedenen Anwendungen der Dampfmaschine, welche die Fortschritte der menschlichen Gesellschaft gefördert haben, ist keine so wichtig, als der Beistand, den sie der Schifffahrt geleistet hat*). Ehe sie der Schifffahrt

---

*) Die Benutzung der Dampfkraft zur Bewegung von Schiffen ist alt. Geschichtliche Nachrichten darüber gibt Marestier's schätzbares Werk: „Mémoire sur les bateaux à vapeur dans les Etats Unis d'Amérique." Paris 1824. 4. Wir geben hier die Hauptzüge der Geschichte der Erfindung und Verbreitung der Dampfschifffahrt. Die älteste Nachricht von einem wahrscheinlich durch Dampfkraft bewegten Fahrzeuge ist die oben Seite 26—27 mitgetheilte Angabe von dem Versuche des Spaniers Blasco de Garay. In den Jahren 1682 bis 1690 machte der Franzose Duquet zu Havre verschiedene Versuche, die Kraft des Windes durch mechanische Mittel zu verstärken; doch kann man ihn deswegen nicht, wie einige gethan haben, den Erfinder des Dampfschiffes nennen, da Vorschläge und Entwürfe dieser Art ohne Zweifel schon früher gemacht wurden. Vor der Erfindung der Dampfmaschine konnte von Dampfschiffen nicht die Rede sein. Savery zeigte schon 1698 das Modell eines Schiffes, das durch Schaufelräder bewegt werden sollte, die er durch andere Räder in Bewegung setzen wollte, auf welche er das durch seine Maschine geförderte Wasser fallen zu lassen vorschlug. War dieß allerdings nur der erste Keim der Erfindung, so kam ihr der Engländer Jonathan Hull noch weit näher, der 1736 ein Patent auf die Bewegung von Schiffen erhielt. Eine nach Newcomen's Grundsätzen gebaute Dampfmaschine sollte durch Seile

ihre Riesenkräfte lieh, war die Fahrt über die Tiefe des Meeres mit großer und unvermeidlicher Gefahr und Unsicherheit verbunden. Die Benutzung der Dampfkraft für die Schifffahrt

---

ohne Ende auf Räder wirken, die ein Schaufelrad drehten, und von dem Boote, auf welchem die Maschine stand, sollten Schiffe in das Schlepptau genommen werden. Die englische Admiralität, an welche Hull sich wendete, wies ungläubig einen Gedanken zurück, aus welchem achtzig Jahre später so große Ergebnisse hervorgehen sollten. Als Watt die Dampfmaschine vervollkommnet hatte, baute Perrier 1775 ein Dampfschiff, mit welchem er mittels einer Maschine, die nicht mehr als die Kraft eines Pferdes hatte, die Seine nur stromabwärts befahren konnte. Der Gedanke wurde wieder aufgegeben. Glücklicher war der Marquis von Jouffroy, der 1781 zu Lyon ein großes Dampfschiff baute, um die Saone zu befahren. Die Revolution störte ihn in seinen Entwürfen. Mit besserem Erfolge ergriffen die Amerikaner den fruchtbaren Gedanken. Schon Benjamin Franklin hatte 1775 vorgeschlagen, Schiffe durch eine Dampfmaschine zu bewegen. Jonathan Fitch baute 1780 ein Boot mit schaufelförmigen Rädern, doch befriedigten seine Versuche die Erwartung nicht. Der Amerikaner Rumsay ging um dieselbe Zeit nach England und baute ein Dampfschiff auf der Themse, das gleichfalls seinem Zweck nicht genügte. Während der Schottländer Patrick Miller 1788 einen sehr gelungenen Versuch machte, der aber in England nicht weiter benutzt wurde, war besonders der Amerikaner Robert Livingston bemüht, den Gedanken in großem Maßstabe auszuführen. Er erhielt 1798 vom Staate New-York einen Freibrief auf 20 Jahre, unter der Bedingung, daß er binnen Jahresfrist ein Schiff von 20 Tonnen bauen sollte, das in einer Stunde 4 englische Meilen zurücklegte. Der Erfolg war ungünstig, wie andere Versuche, die er machte. Er kam um 1803 als Gesandter der Vereinigten Staaten nach Paris, wo er sich mit Robert Fulton verband, der schon fünf Jahre früher der französischen Regierung die Erbauung eines Dampfschiffes vorgeschlagen hatte. Fulton baute 1803 ein Dampfboot, mit welchem er die Seine hinanfuhr; da aber die französische Regierung seine Anerbietungen nicht annahm, ging er nach Amerika zurück. Mit einer von Bolton und Watt verfertigten Maschine von 20 Pferdekräften baute er 1807 ein großes Dampfschiff, Clermont genannt, das mit 160 Tonnen Ladung den 120 Seemeilen langen Weg von New-York nach Albany in 32 Stunden zurücklegte. Er war besonders darum in seinen Bemühungen glücklich, weil er größere Schiffe baute, als seine Vorgänger und örtliche Umstände, vorzüglich das tiefe Fahrwasser der amerikanischen Ströme, ihn begünstigten. Der gelungene Versuch, mit

aber hat den Seemann sehr gegen die Gefahren des Windes und der Wogen gesichert, und schon jetzt, abgesehen von den Verbesserungen, deren die Dampfschifffahrt noch fähig ist, hat die Dampfkraft alle nicht zu lange Reisen so sicher und regelmäßig gemacht als Landreisen. Wir dürfen Verbesserungen entgegen sehen, welche die Kraft der Dampfmaschine wahrscheinlich so sehr vermehren werden, daß sie als Mittel dienen kann, die entlegensten Theile der Erde zu verbinden.

Die Art der Anwendung der Dampfkraft auf die Bewegung von Schiffen bedarf keiner umständlichen Erläuterung. Zwei Räder, gewöhnlichen unterschlächtigen Rädern gleich, auf den Rändern mit flachen Bretern, sogenannten Schaufeln, versehen, befinden sich auf beiden Seiten des Schiffes in einer solchen Stellung, daß, wenn das Schiff bis zu seiner gewöhnlichen Tiefe im Wasser geht, die untersten Schaufeln eingetaucht werden. Diese Räder sind auf einer Welle befestigt, welche sich mittels der darauf angebrachten Kurbeln umdreht, wie das Schwungrad einer gewöhnlichen Dampfmaschine sich umdreht. Es ist jetzt allgemein üblich, in Dampfschiffen zwei Dampfmaschinen aufzustellen, deren jede eine der Kurbeln bewegt. Diese beiden Kurbeln stehen in rechten Winkeln gegen einander, wie die Kurbeln bei den bereits beschriebenen Dampfwagen. Ist eine Kurbel ruhend, so ist die andere in voller

---

Dampfschiffen gegen Wind und Wellen zu kämpfen, entschied das Glück der Erfindung und es wurden bald viele Dampfschiffe in Amerika gebaut. Eines der größten ist Fulton's Dampffregatte, ein Doppelschiff, 152 Fuß lang, 57 Fuß breit, 20 Fuß tief, mit 32 Achtzehnpfündern bewaffnet, in den Wänden 5 Fuß stark und durch eine Dampfmaschine von 120 Pferdekräften bewegt. Sie ward erst 1815 nach Fulton's Tode vollendet. Lange nach Miller's Versuche wurde auch in England der Gedanke wieder aufgefaßt. Seit 1801 wurden durch Bunter und Dickinson Versuche auf der Themse gemacht und Symington baute ein eigentliches Dampfboot, das mit Erfolg den Clyde befuhr; aber erst Amerika's glänzendes Beispiel ermunterte seit 1812 zu bedeutendern Versuchen, und nachdem zuerst Bell und Thomson durch ihre Unternehmungen Aufmerksamkeit erregt hatten, vermehrte sich auch in England und Schottland bald die Zahl der Dampfschiffe.

Thätigkeit, so daß ein Schwungrad hier nicht nöthig ist. Die Dampfmaschinen können condensirende oder Hochdruck-Maschinen sein, in Europa aber hat man die condensirende Maschine mit niedrigem Drucke allgemein für die Zwecke der Schifffahrt angewendet. In Amerika, wo die Dampfschifffahrt bis auf die neueste Zeit weit umfassender benutzt ward als in Europa, hat man gegen die Anwendung von Hochdruck-Maschinen weniger eingewendet, und bei dem kleinen Raum, den sie einnehmen, bei den geringen Anlagekosten, bei ihrem einfachen Bau sind sie besonders für die Flußschifffahrt sehr zu empfehlen.

Die Schiff-Dampfmaschine ist in einigen Beziehungen anders eingerichtet, als die gewöhnlichen Dampfmaschinen. Mangel an Raum macht kleinere Dimensionen nöthig, und um die Höhe der Maschine zu vermindern, wird der Balancier nicht über, sondern unter dem Cylinder angebracht. Sie hat eigentlich zwei solcher Hebel, einen an jeder Seite der Maschine, welche durch eine Parallel-Bewegung mit dem Kolben verbunden sind, indem die Stangen der Parallel-Bewegung sich von dem unteren Theile der Maschine bis zum oberen Theile der Kolbenstange erstrecken. Der wirkende Arm des Balanciers ist mit der Kurbel durch eine Leitstange verbunden, welche aufwärts geht, statt abwärts, wie bei der Land-Dampfmaschine. Das Verhältniß der Länge und der Durchmesser der Cylinder ist anders als bei den Land-Dampfmaschinen, und zwar aus gleichen Gründen, um an Höhe zu sparen, werden kurze Cylinder mit großen Durchmessern gebraucht. So beträgt in einer Maschine von 200 Pferdekräften die Länge des Cylinders zuweilen 60 Zoll und sein Durchmesser 53 Zoll. Die Steuerungs-Ventile, die Luftpumpe, der Condensator und andere Theile sind von den bereits beschriebenen Theilen der Land-Dampfmaschine nicht wesentlich unterschieden.

Die Leistungen der Schiff-Dampfmaschine sind von der Art, daß große Regelmäßigkeit der Wirkung weder nothwendig noch möglich ist. Bei der Bewegung der Oberfläche des Meeres ist die Eintauchung der Schaufelräder sehr veränderlich und der Widerstand der Maschine gleichfalls Veränderungen unterworfen. Der Regulator und andere Theile der beschriebenen

Vorrichtung, durch welche die Maschine jene Regelmäßigkeit erhält, die bei der Anwendung in Fabriken unumgänglich nothwendig ist, kommen auf Schiffen nicht vor, und man braucht nichts als was erfoderlich ist, die Maschine stets in voller Wirkungskraft zu erhalten.

Es liegt am Tage, daß es von großer Wichtigkeit ist, den Raum, welchen die Maschine auf dem Schiffe einnimmt, so sehr als möglich zu beschränken. Die Kessel sind daher so gebaut, daß sie bei dem geringsten Umfange die nöthige Dampfmenge liefern. Zu diesem Zwecke ist eine, im Verhältnisse zu der Größe des Kessels weit ausgedehntere Oberfläche der Wirkung des Feuers ausgesetzt. Die Züge, welche die erhitzte Luft in den Rauchfang führen, gehen durch den Kessel, so daß sie auf das Wasser überall in dünnen länglichen Platten wirken, welche rückwärts und vorwärts durch den Kessel laufen, bis sie endlich in den Rauchfang übergehen. Diese Einrichtung vermehrt zwar die Kosten der Anlage bedeutend, aber auf der andern Seite wird auch die dampferzeugende Kraft des Kessels dadurch erhöht, und die von Watt in Birmingham angestellten Versuche haben gezeigt, daß diese Kessel mit einer Ersparung an Feuerungsmitteln arbeiten, die sich in Vergleichung mit den Kesseln in Land-Dampfmaschinen wie 2 zu 3 verhält. Sie haben daher auch noch den Vortheil, daß sie eine Ersparung an Tonnengewicht gewähren.

Eine der furchtbarsten Schwierigkeiten, die bei der Anwendung der Dampfmaschine auf die Schifffahrt zu überwinden ist, entsteht aus der Nothwendigkeit, den Kessel mit Seewasser zu speisen. Dieses auch zur Condensirung gebrauchte Wasser wird in den Condensator gespritzt, und mit dem condensirten Dampfe vermischt, wird es als Speisewasser in den Kessel geführt. Das in dem Seewasser enthaltene und nicht verdünstende Salz bleibt im Kessel. Es wird von dem Wasser auf dieselbe Art wie bei der Destillation geschieden. Da nun die Verdünstung im Kessel fortdauert, so wird das in dem Wasser enthaltene Salz stets vermehrt, bis sich mehr davon angehäuft hat, als das Wasser aufzulösen im Stande ist. Es bildet sich ein Niederschlag, der sich in den Höhlungen auf dem Boden

des Kessels ansetzt, und es ist klar, daß bei längerer Fortdauer dieses Niederschlags sich der Kessel endlich mit Salz anfüllen würde.

Ueberdieß bildet sich zuweilen ein Niederschlag von Kalkerde*), und es entsteht eine harte Rinde auf der inneren Oberfläche des Kessels. Auch werden wohl mit dem eingepumpten Speisewasser Sand und Schlamm in den Kessel gebracht. All diese Stoffe, mögen sie sich auf den Boden des Kessels legen oder als eine Rinde an die innere Oberfläche ansetzen, hemmen das Eindringen der Hitze von dem Feuer in das Wasser. Die Rinde ist nicht selten über 1 Zoll dick und so hart, daß starke Meisel zerbrechen, wenn man sie damit wegschaffen will. Die von diesen Stoffen mehr oder minder aufgefangene Hitze sammelt sich in dem Metall und bringt es zu einer weit höheren Temperatur als das darin enthaltene Wasser. Sie kann sogar, wenn die Rinde dick ist, den Kessel zur Rothglühhitze bringen. Diese Umstände veranlassen eine schnelle Zerstörung desselben und machen ihn sogar gefährlich, indem sie ihn erweichen.

Gewöhnlich läßt man, um diese nachtheiligen Wirkungen zu entfernen oder zu vermindern, stets einen heißen Wasserstrom aus dem Kessel laufen, und durch die Speiseröhre eben viel kaltes Wasser hineinströmen. Während das aus dem Kessel fließende heiße Wasser außer seinem gewöhnlichen Salzgehalt auch den Theil enthält, der von dem in Dampf verwandelten Wasser abgesondert ist, enthält das einströmende kalte Wasser weniger Salztheile, da es aus dem Seewasser und dem mit demselben vermischten, kein Salz enthaltenden condensirten Dampfe besteht. Auf diese Weise kann die Anhäufung von Salz im Kessel vermindert werden, doch ist dieß mit beträchtlichem Nachtheil und Verlust verbunden. Es liegt am Tage, daß die Ausleerung des heißen Wassers und der Zufluß eines so beträchtlichen kalten Wasserstroms eine starke Verschwendung von Feuerungsmitteln verursachen und es folglich nothwendig

*) Das Seewasser enthält 3 Prozent Kochsalz und etwas Gips. Es fängt an das Salz abzusetzen, wenn es auf $\frac{1}{10}$ seines Volumens gebracht ist, und von 1000 auf 299 Theile gebracht, setzt es Gips ab.

machen, das Schiff mit weit mehr Kohlen zu belasten, als zur Bewegung desselben durchaus nöthig sind. Auf langen Seereisen, wo dieser Nachtheil besonders empfunden wird, ist dieser Umstand von Wichtigkeit. Ueberdieß wird, abgesehen von der Verschwendung des Feuerungsbedarfs, auch die Geschwindigkeit des Schiffes vermindert, in so fern die Verdünstung im Kessel durch den steten Zufluß vom kaltem Wasser gehemmt wird. Jene Ausleerung des Wassers wird nur zuweilen angewendet. In den Dampfschiffen der englischen Admiralität soll sie nach den bestehenden Vorschriften alle zwei Stunden vorgenommen werden, geschieht aber gewöhnlich nur einmal täglich.

Dieses Mittel hilft den Nachtheilen, die wir angedeutet haben, nur zum Theil ab. Es wird dadurch vielleicht der lockere Niederschlag entfernt, aber es bildet sich auch eine, nach der Beschaffenheit des Wassers mehr oder minder dicke Rinde im Kessel. Ueberdieß lassen sich die Maschinenwärter, um die Wirksamkeit der Dampfmaschine für den Augenblick zu unterhalten, leicht in Versuchung führen, das Ausleeren des Wassers zu vernachlässigen, und selten kann man sich darauf verlassen, daß sie dieses Mittel mit jener Stetigkeit und Regelmäßigkeit anwenden, die zur Erhaltung der Kessel durchaus nothwendig sind. Die Fahrzeuge, welche in dieser Hinsicht den meisten Schaden zu befürchten haben, sind die zu Seereisen bestimmten Dampfschiffe der Admiralität. Nach einem im August 1834 von den Seeoffizieren Lloyd und Kingston erstatteten Berichte, ist die Ausleerung des Wassers, selbst wenn sie täglich geschieht, unwirksam. Sie sagen, daß das Kesselwasser, selbst wenn man noch so sorgfältig darauf sehe, es von Zeit zu Zeit in das Meer ablaufen zu lassen, besonders auf langen Reisen, dennoch viel Satz absetze, dessen erdige Theile zu einer dicken Rinde verhärten, und daß die Kessel oft in wenigen Monaten so sehr verderben, als es sonst erst in eben so vielen Jahren geschehen würde. Auch sie bestätigen die große Verschwendung der Feuerungsmittel, die aus der Schwierigkeit entsteht, die Hitze durch die dicke Rinde der innern Oberfläche wirken zu lassen.

Es würde unausführbar sein, an Bord eines Dampfschiffs so viel reines und frisches Wasser mitzunehmen, als zum Gebrauche der Maschine hinlänglich wäre. Man müßte zu diesem Zwecke so viel Zufluß von kaltem Wasser haben, um den condensirenden Behälter kalt zu erhalten und es in den Condensator einspritzen zu können; man müßte einen Behälter haben, in welchem das aus der Ausleerungsröhre des Kaltwasser-Brunnens fließende warme Wasser sich abkühlen könnte. Die Kunstverständigen haben daher auf Mittel gesonnen, den Dampf ohne Einspritzung zu condensiren, und nach der Condensation ihn zur Speisung des Kessels zu sammeln. Ließe sich dieß ausführen, so würde es nicht nöthig sein, einen größeren Vorrath von reinem Wasser zu haben, als hinreichend wäre, den kleinen Theil zu ersetzen, der durch Lecke und auf andere Weise verloren ginge, und dieß ließe sich leicht durch Destillation des Seewassers erlangen, wozu ein Gefäß dienen könnte, auf welches das den Kessel erhitzende Feuer wirkte.

115.

Samuel Hall aus Basford bei Nottingham erhielt ein Patent auf eine neue Einrichtung des Condensators, die diesen Zweck erfüllen sollte, und einige andere Verbesserungen der Maschine. Sein Condensator besteht aus vielen engen Röhren, die in einen Behälter mit kaltem Wasser eingelassen sind. Kommt der Dampf aus dem Cylinder, nachdem er den Kolben getrieben hat, so tritt er in diese Röhren, deren kalte Oberfläche ihn sogleich condensirt. Er fließt in Wassergestalt von ihren äußersten Enden, wird durch die Luftpumpe ausgezogen und auf die gewöhnliche Weise einem Behälter zugeführt, der den Kessel speiset. In den Schiffs-Dampfmaschinen, die nach Hall's Patent gebaut wurden, haben die Röhren des Condensators eine senkrechte Stellung, und der Dampf strömt aus dem Cylinder in den oberen Theil des Condensators, der ein niedriger flacher Behälter ist, in dessen Boden die oberen Enden der Röhren eingelassen sind. Der Dampf strömt in diesen Röhren hinab und wird bei dem Durch-

gange condensirt. Dann geht er in ein ähnliches unteres Behältniß, aus welchem er durch die Luftpumpe gezogen wird.

Es liegt am Tage, daß man auf der See stets einen unbeschränkten Zufluß von kaltem Wasser erlangen kann, um den condensirenden Behälter kalt zu erhalten, so daß immer eine vollkommene Condensation durch jene Röhren bewirkt werden kann, wenn sie klein genug sind. Das durch die Condensation gewonnene Wasser ist reines destillirtes Wasser, und wird der Kessel mit Wasser gespeist, in welchem keine erdigen oder anderen Stoffe aufgelöst sind, die niedergeschlagen werden oder als Rinde sich ansetzen können, so läßt er sich lange benutzen, ohne Schaden zu leiden. Die geringe Menge von Wasser, das durch Lecke verloren geht, wird in Hall's Maschine durch eine einfache Vorrichtung ersetzt, in welcher eine hinlängliche Menge von Seewasser destillirt werden kann. Hall zählt mehre Vortheile auf, die durch seinen Condensator gewonnen werden sollen. Er erspart an Feuerungsmitteln so viel, daß es zuweilen ein Drittheil des gewöhnlichen Bedarfs beträgt. Die Kessel sind gegen die zerstörenden Nachtheile geschützt, die bei den gewöhnlichen Maschinen durch die ätzende Wirkung des Seewassers oder eines anderen unreinen Wassers und durch die sich anlegenden erdigen Rinden entstehen. Er erspart die zur Reinigung der Kessel nöthige Zeit. Die Kraftwirkung der Maschine wird bedeutend vermehrt durch die Reinlichkeit der Kessel, durch die Abwesenheit des Einspritzwassers, das aus dem luftleeren Raume ausgepumpt werden muß, durch die bessere Erhaltung des Kolbens und der Ventile der Luftpumpe, und durch die aus einer andern Vorrichtung des Erfinders hervorgehende größere Geschmeidigkeit der Maschinentheile. Das Wasser in dem Kessel bleibt durch eine selbstwirkende Vorrichtung immer auf gleicher Höhe. Der Kessel, der eine bestimmte Kraft ausübt, ist wegen seiner vollkommneren Wirkung weit kleiner als die gewöhnlichen.

Die Regierung ließ die Wirkung der von Hall erfundenen Kessel durch die erwähnten Seeoffiziere Lloyd und Kingston untersuchen, die in ihrem Berichte versicherten, daß das Ergebniß nichts zu wünschen übrig lasse. Zu den dadurch ge-

wonnenen Vortheilen rechnen sie die vermehrte Dauerhaftigkeit der Maschine, die Verhütung von Unfällen, die durch Sorglosigkeit aus der Verstopfung des Condensators und der Luftpumpe mit Einspritzwasser entstehen, und die größere Sicherheit gegen das Zerspringen, dem die Kessel ausgesetzt sind, wenn das Wasser darin zu tief steht. Als die wichtigsten Vortheile aber, welchen alle anderen nachstehen, betrachten sie die vermehrte Dauerhaftigkeit der Kessel und die Ersparung an Feuerungsbedarf.

Gegen sechzehn Maschinen, die theils ganz nach Hall's Grundsätzen gebaut sind, theils nur seinen Condensator erhalten haben, waren im October 1835 in verschiedenen Theilen Großbritanniens auf mehren Schiffen seit kürzerer oder längerer Zeit wirksam und hatten nach den einstimmigen Zeugnissen der Eigenthümer und der Schiffsführer alle von dem Erfinder verheißenen Vortheile gewährt. Man hätte bezweifeln können, ob sich bei dem Mangel der gewöhnlichen Condensationsart durch Einspritzung von kaltem Wasser, ein vollkommen luftleerer Raum in dem Condensator erzeugen lassen würde; aber wie es scheint, wird in diesen Maschinen ein besserer luftleerer Raum erhalten als in den gewöhnlichen, die durch Einspritzung condensiren. Die Barometer-Probe wechselt von 29 zu 29½ Zoll und steigt zuweilen bis zu 30. Dieß zeigt einen ziemlich vollkommnen luftleeren Raum an, der zu allen praktischen Zwecken genug ist. In allen Fällen sind die Kessel von Rindenansatz frei geblieben und Niederschlag war entweder gar nicht, oder nur in so unbedeutendem Grade vorhanden, daß der Kessel höchstens einmal halbjährlich gereinigt werden mußte. Auch bei der britischen Seemacht hat sich die Erfindung bewährt, so weit sie bis jetzt benutzt worden ist.

So viel ich weiß, hat man Hall's Vorrichtung noch nicht in Beziehung auf die, von einer gegebenen Menge Kohlen ausgeübte Kraft geprüft. Die bloße Thatsache, daß ein guter luftleerer Raum in dem Condensator unterhalten wird, kann für sich nicht als ein entscheidender Beweis von der Wirksamkeit der Maschine betrachtet werden. Ungeachtet man kein Wasser und keine Luft in den Condensator einführt,

hat Hall doch eine eben so große Luftpumpe als bei gewöhnlichen condensirenden Maschinen, ja er empfiehlt eine noch größere. Wozu dieses Zubehör? möchte man fragen. Ist nichts als der condensirte Dampf wegzuschaffen, so sollte man sich mit einer sehr kleinen Pumpe begnügen. Man kann sich nicht wundern, daß ein guter luftleerer Raum in dem Condensator unterhalten wird, wenn die auf die Luftpumpe verwendete Kraft benutzt wird, nicht condensirten Dampf auszupumpen.

Uebrigens darf nicht unbemerkt bleiben, daß Hall's Condensator nur die Erneuerung einer früheren Erfindung Watt's ist. Watt's Sohn besitzt die Zeichnung von einem Condensator, welche im Jahre 1776 dem Parlamente vorgelegt werden sollte. Hier wird dieselbe Vorrichtung, den Dampf ohne Einspritzung zu condensiren, vorgeschlagen. Watt aber gab den Gedanken wieder auf, weil er fand, daß er durch dieses Mittel nicht schnell oder nicht vollkommen genug einen luftleeren Raum erzeugen konnte. Wahrscheinlich bildete sich auch ein Niederschlag in den Röhren des Condensators, wodurch die Condensation gehindert wurde. Hall hat, wie es scheint, Mittel gefunden, diese Wirkungen zu verhüten.

Seine Erfindung verdient noch in einer andern Beziehung Aufmerksamkeit. In allen Dampfmaschinen entweicht viel Dampf durch das Sicherheits-Ventil. So oft das Fahrzeug anhält, geht der Dampf, den sonst die Cylinder aus dem Kessel erhalten würden, durch jenes Ventil in die Atmosphäre über. Wenn die Cylinder mit geringerer Kraft arbeiten und den Dampf nicht so schnell verbrauchen, als der Kessel ihn erzeugt, geht der Ueberfluß gleichfalls durch das Sicherheits-Ventil. Nach Hall's Grundsatz aber ist es nöthig, das in Dampfgestalt entweichende Wasser zu sparen, weil sonst das reine Kesselwasser schneller würde verbraucht werden. Er bringt daher ein Sicherheits-Ventil von besonderer Einrichtung mit einer Röhre in Verbindung, die zu dem Condensator führt, so daß in allen Fällen, wo sich Dampf in dem Kessel anhäuft, der verstärkte Druck das Ventil öffnet und der Dampf durch jene Röhre in den Condensator übergeht. Hier verwandelt

er sich wieder in Wasser und wird durch die Luftpumpe in den Behälter gebracht, der den Kessel speiset.

Die Erreichung eines so nützlichen Zweckes, die Anwendung der Dampfkraft auf die Schifffahrt weiter auszudehnen und lange Seereisen ausführbar zu machen, in so fern es durch die Wirksamkeit der Maschinerie geschehen kann, hat in England den Erfindungsgeist vielfach angeregt. Die Erhaltung des Kessels durch die Verhütung von Niederschlag und Rindenansatz ist von großer Wichtigkeit, und die Erreichung dieses Zweckes ist nothwendig mit einer andern Bedingung verbunden, von welcher die Ausdehnung von Reisen auf Dampfschiffen abhangen muß, nämlich die Ersparung von Feuerungsbedarf. In dem Verhältnisse als die Ersparung an Feuerungsmitteln steigt, in demselben Verhältnisse wird sich die Gränze erweitern, bis zu welcher die Dampfschifffahrt gehen kann.

116.

Thomas Howard in London erhielt ein Patent auf eine Dampfmaschine, die in ihrer Form neu und sinnreich, eine bedeutende Ersparung an Feuerungsmitteln gewähren, und damit die von Hall's Maschine gerühmten Vorzüge verbinden sollte. In dieser, wie in Hall's Maschine, wird der Dampf stets aus demselben Wasser wieder erzeugt, so daß reines oder destillirtes Wasser gebraucht werden kann; aber Howard bedient sich des Kessels gar nicht. Auch ist der Dampf, den er anwendet, ganz verschieden von dem in gewöhnlichen Maschinen gebrauchten. In diesen wird der Dampf unmittelbar aus dem siedenden Wasser gewonnen und enthält so viel Wasser als er bei seiner Temperatur halten kann. Ein Kubikfuß Dampf, wie er in gewöhnlichen Maschinen gebraucht wird, enthält bei einer Temperatur von 80° R. einen Kubikzoll Wasser; aber in Howard's Maschine wird dem Dampf, ehe er in den Cylinder übergeht, eine bedeutende Menge von Wärme mitgetheilt, außer derjenigen, die nöthig ist, ihn in Dampfform zu erhalten.

Es wird eine gewisse Menge Quecksilber in einem nicht sehr tiefen eisernen Gefäße über ein Feuer von entschwefelten Kohlen gestellt und in einer Temperatur von 160 bis 200° R. erhalten. Die dem Feuer ausgesetzte Oberfläche ist $\frac{3}{4}$ eines Quadratfußes für jede Pferdekraft. Die obere Oberfläche des Quecksilbers ist mit einer sehr dünnen Eisenplatte bedeckt, die mit derselben in Berührung bleibt und so eingerichtet ist, daß sie eine beinahe viermal so große Oberfläche hat, als die unten dem Feuer ausgesetzte. Daneben steht ein Gefäß mit Wasser, das beinahe in der Siedehitze erhalten wird und mittels einer Röhre und eines Ventils mit dem unmittelbar über dem Quecksilber befindlichen Gefäße in Verbindung steht. Von Zeit zu Zeit, in Uebereinstimmung mit den Kolbenhüben, wird aus jenem Gefäße etwas Wasser gespritzt, das auf die das heiße Quecksilber bedeckende Eisenplatte fällt. Es erhält dadurch den Wärmegrad, der nöthig ist, es nicht nur in Dampf zu verwandeln, sondern auch diesen Dampf auszudehnen und ihn auf eine höhere Temperatur zu bringen als er haben würde, wenn er unmittelbar über dem Wasser aufstiege. Der dadurch erzeugte Dampf wird eine Temperatur haben, die nicht mit dem Drucke desselben in Uebereinstimmung ist, sondern ihn weit übersteigt, und er wird daher mehr oder weniger von seiner Wärme abgeben und seine Temperatur vermindert werden können, ohne auch nur theilweise condensirt zu werden, wogegen der in den gewöhnlichen Dampfmaschinen gebrauchte Dampf bei der geringsten Verminderung seiner Temperatur mehr oder weniger condensirt wird. Die Menge der in das Dampfbehältniß eingespritzten Flüssigkeit muß nach der Kraft abgemessen werden, mit welcher die Dampfmaschine arbeiten soll. Das Feuer wird durch ein Gebläse unterhalten, das genau geregelt wird. Der auf die angegebene Weise erzeugte Dampf geht in ein Behältniß über, das den arbeitenden Cylinder umgibt, und dieses Behältniß ist von einem andern Raum umschlossen, durch welchen die von dem Herde entweichende Luft gehen muß, ehe sie in den Kanal übergeht. Sie gibt auf diese Weise ihre überflüssige Hitze dem Dampfe ab, der den Cylinder treiben soll, und bringt ihn auf eine Temperatur von ungefähr 160° R., wäh-

rend der Druck nicht über 25 Pfund auf den Quadratzoll beträgt. Die Ventile, welche den Dampf in den Cylinder strömen lassen, sind so eingerichtet, daß er durch seine Ausdehnungskraft wirken kann.

Sehen wir nun, wie der luftleere Raum auf der entgegengesetzten Seite des Kolbens durch Condensation unterhalten wird. Der Condensator ist ein kupfernes Gefäß, das in einem stets mit kaltem Wasser gespeisten Behälter steht und der Dampf strömt ihm aus dem Cylinder durch eine Ausleerungsröhre auf die gewöhnliche Weise zu. Eine Einspritzröhre geht aus einem neben ihm befindlichen Gefäße hinein, welches, ehe die Maschine zu arbeiten anfängt, mit destillirtem Wasser gefüllt wird. Das Condensations-Wasser und der condensirte Dampf werden aus dem Condensator durch Luftpumpen weggeschafft, die von der gewöhnlichen Art, aber etwas kleiner sind, da hier keine Luft weggeschafft werden muß, wie in gewöhnlichen Maschinen. Das aus dem Condensator gepumpte warme Wasser wird in eine wurmförmige kupferne Röhre getrieben, die in vielen Windungen durch einen Behälter mit kaltem Wasser geht, so daß es, wenn es an das Ende der Röhre kommt, die gewöhnliche Temperatur der Atmosphäre hat. Die Röhre wird dann in das bereits genannte Gefäß mit destillirtem Wasser geführt, und das stets aus ihr entströmende Wassir ersetzt dasjenige, das durch die condensirende Einspritzröhre in den Condensator geht. Da das Condensations-Wasser von Luft rein ist, so braucht man nur eine sehr kleine Luftpumpe, die bloß den Condensator und die Röhren, wenn die Maschine wirken soll, auszuleeren und die Luft wegzuschaffen hat, die etwa durch Lecke eingedrungen ist. Howard behauptet, die Condensation werde so schnell und vollkommen bewirkt, als in der besten Dampfmaschine, und es liegt am Tage, daß diese Condensations-Art selbst in Fällen angewendet werden kann, wo die beschriebene Vorrichtung, mittels des Quecksilber-Behältnisses Dampf zu erzeugen, nicht angewendet wird. Das Gefäß, aus welchem das Wasser auf den Quecksilber-Apparat gespritzt wird, erhält seinen Zufluß gleichfalls durch die mit dem Condensator verbundene Luftpumpe. Es gibt außer der wurmförmigen kupfernen Röhre noch eine

andere, die aus dem Warmwasser-Brunnen zu jenem Gefäße geführt ist, und das Wasser geht durch dieselbe, ohne abgekühlt zu werden. Das Gefäß ist der Wirkung des Feuers hinlänglich ausgesetzt, um eine Temperatur zu behalten, die nicht tief unter dem Siedepunkte ist.

Ein Apparat dieser Art ward im Frühling 1835 auf dem der Admiralität gehörenden Dampfschiffe, der Komet, in Verbindung mit zwei Dampfmaschinen von 40 Pferdekräften aufgestellt. Howard behauptet, diese Maschinen seien zu der von ihm angegebenen Vorrichtung wenig passend gewesen; aber das Fahrzeug fuhr deß ungeachtet mit gutem Erfolge 800 englische Meilen weit auf der Themse und machte eine Reise von Falmouth nach Lissabon, konnte aber nicht zurückkehren, weil die Maschinerie an der portugiesischen Küste beschädigt ward. Auf dieser Fahrt brauchte es nie über ein Drittheil seines früheren Feuerungsbedarfs. Nach jener Fehlschlagung, die jedoch aus einem Zufalle hervorgegangen war und nicht den Grundsatz der neuen Erfindung verdächtig machte, wollte die Admiralität keinen neuen Versuch mehr wagen. Howard aber baute auf eigene Kosten ein Dampfschiff mit zwei Maschinen von 40 Pferdekräften, das zu Ende des Jahres 1835 vollendet ward. Er gibt als Vorzüge seiner Erfindung an, 1. die Ersparung an Raum und Gewicht, weil kein Kessel gebraucht wird, 2. den geringeren Feuerungsbedarf, 3. die kleinere Gestalt der Feuerzüge, 4. die Beseitigung der durch Niederschläge und Rindenansetzung herbeigeführten Nachtheile, 5. die Abwesenheit des Rauches. Einige dieser Verbesserungen werden, wenn sie sich bewähren, für die Dampfschifffahrt wichtig sein. Dampfschiffe von gegebenem Tonnengehalt und bestimmter Kraftwirkung werden mehr Raum für Güter und Feuerungsbedarf haben, und auf kurzen Reisen können größere Ladungen oder mehr Reisende aufgenommen, oder, wenn man mehr Feuerungsmittel*) nimmt, weitere Reisen gemacht werden, oder es läßt

*) Bei diesen Maschinen werden Cokes, nicht Kohlen gebraucht. Ein Tonne Cokes nimmt eben so viel Raum ein als zwei Tonnen Kohlen. Der Tonnengehalt wird daher durch Beschränkung des

sich bei gleichem Tonnengehalt und gleicher Ladung eine kräftigere Maschinerie anwenden.

117.

Sollte eine bewegende Kraft ihre volle mechanische Wirkung in der Forttreibung eines Fahrzeuges äußern, so würde es nöthig sein, daß sie so stark wäre, durch beständiges Wirken gegen das Wasser in einer horizontalen Richtung und mit einer dem Laufe des Schiffes entgegengesetzten Bewegung fortzutreiben. Man hat jedoch bis jetzt noch keine mechanische Vorrichtung erfunden, durch welche sich dieser Zweck vollständig erreichen ließe. Den meisten Erfindungen, selbst den sinnreichsten, steht der Umstand entgegen, daß sie einen zu verwickelten Mechanismus haben. Kein Theil der Maschinerie eines Dampfschiffes auf der See ist so leicht Beschädigungen ausgesetzt als die Schaufelräder, und die Einrichtung derselben muß daher so einfach sein, daß die Ausbesserungen vorgenommen werden können, die in solchen Nothfällen möglich sind.

Das gewöhnliche Schaufelrad dreht sich, wie wir gehört haben, um eine von der Maschine bewegte Achse, und auf seinem Rande sind mehre flache Breter, Schaufeln genannt, befestigt, und so gestellt, daß die Flächen der Schaufeln von dem Mittelpunkte der Achse, um welche das Rad sich dreht, etwas divergiren. Die Folge dieser Einrichtung ist, daß jede Schaufel nur in derjenigen Richtung wirken kann, welche für die Forttreibung des Schiffes am vortheilhaftesten ist, wenn sie dem tiefsten Punkte des Rades nahe kommt. In Fig. 67 sei O die Achse, um welche sich das Rad bewegt. Die Stellung der Schaufeln bezeichnen AB u. s. w. XY deuten die Wasserfläche an, in der Voraussetzung, daß der Lauf des Schiffs von X nach Y gehe. Die Pfeile bezeichnen die Richtung, in welcher das Schaufelrad sich umdreht. Das Rad geht bis zur

---

Feuerungsbedarfs verhältnißmäßig nicht so sehr vergrößert werden als man an Feuerung erspart. Eine Menge von Feuerungsmitteln gleicher Kraft wird etwa die Hälfte des jetzigen Raumes einnehmen, aber das Fahrzeug wird weniger tief im Wasser gehen.

Tiefe der niedrigsten Schaufel im Wasser, da eine geringere Tiefe einen Theil der Oberfläche jeder Schaufel mechanisch unnütz machen würde. In der Stellung A ist die ganze Kraft des Schaufelrades zum Forttreiben des Schiffes wirksam; aber wenn die Schaufel in der Stellung H in das Wasser kommt, so ist ihre Wirkung auf das Wasser, da sie nicht horizontal ist, nur theilweise zum Forttreiben wirksam; ein Theil der Kraft, welche die Schaufel treibt, wird aufgewendet, das Wasser zu drücken, und der übrige Theil, es gegen den Lauf des Schiffes zu treiben, wobei die Reaktion eine gewisse forttreibende Wirkung hervorbringt. Die Schaufel aber, die bei H in das Wasser tritt, hat das Streben, eine Höhlung oder eine Mulde zu bilden, welche das Wasser, vermöge seiner natürlichen Eigenschaft, stets wieder auszufüllen strebt. Ist die Schaufel durch ihren niedrigsten Punkt A gegangen und nähert sie sich der Stellung B, wo sie aus dem Wasser hervortaucht, so wirkt sie wieder schräge, da nur ein Theil derselben eine forttreibende Kraft hat, der übrige Theil aber strebt, das Wasser zu heben und eine Welle aufzuwerfen. Es ist offenbar, daß, je tiefer das Schaufelrad im Wasser geht, desto größer das Verhältniß der forttreibenden Kraft ist, die auf diese Weise verschwendet wird, das Wasser zu heben und niederzudrücken; und wenn das Rad bis an seine Achse im Wasser ginge, so würde die ganze Kraft der Schaufeln bei dem Eintritt in das Wasser und bei dem Austritt verloren gehen, da kein Theil derselben ein Streben zum Forttreiben hätte. Würde das Rad noch tiefer eingetaucht, so würden die Schaufeln über der Achse ein Streben erhalten, den Lauf des Fahrzeuges zu hemmen. Ist daher das Fahrzeug in gehörigem Stande, so sollte die Eintauchung weder über, noch unter die Tiefe der niedrigsten Schaufel gehen; aber aus verschiedenen Gründen ist es in der Praxis nicht möglich, diese bestimmte Tiefe zu behaupten. Die Bewegung auf der Oberfläche des Meeres, welche das Schiff wälzt, muß eine große Veränderung in der Eintauchung der Schaufelräder hervorbringen, und das eine wird oft bis an die Achse im Wasser gehen, während das andere ganz aus dem Wasser gehoben wird. Auch wird durch Veränderung der Ladung die Wasser-

tiefe des Schiffes verändert, was nothwendig bei Dampfschiffen vorfällt, die lange Reisen machen. Bei der Abfahrt haben sie eine schwere Ladung von Feuerungsmitteln, nach deren allmähligem Verbrauche das Schiff leichter wird, und es ist, wie es scheint, nicht ausführbar, Seewasser als Ballast zu gebrauchen, um die gehörige Eintauchung wieder herzustellen.

118.

Unter den Erfindungen, die man gemacht hat, um jenen Mängeln des gewöhnlichen Schaufelrades abzuhelfen und Schaufeln einzuführen, die ihre Stellung verändern können, indem sie sich mit dem Umfange des Rades umdrehen, gibt es nur eine, die in Gebrauch gekommen ist, nämlich Morgan's Schaufelrad. Der ursprüngliche Erfinder war Elias Galloway, der sein Patent an Morgan verkaufte. Später wurden einige Verbesserungen an diesem Rade angebracht, das jetzt auf vielen Dampfschiffen der Admiralität gebraucht wird. Es wurde zuerst auf dem Dampfschiffe Confiance eingeführt und nach mehren gelungenen Versuchen auf andern, z. B. auf dem großen prächtigen Dampfschiffe Medea von 860 Tonnen mit Dampfmaschinen von 220 Pferdekräften. Bei verschiedenen Versuchen, die mit zwei Schiffen von gleicher Bauart und mit Dampfmaschinen von gleicher Wirkungskraft angestellt wurden, zeigte dasjenige, das mit Morgan's Schaufelrädern versehen war, vor dem andern mit gewöhnlichen Rädern einen entschiedenen Vorzug, sowohl auf ruhigem als bewegtem Wasser. Nach dem Zeugnisse des Offiziers, der das mit Morgan's Rädern versehene Dampfschiff Confiance befehligte, wurde das Fahrzeug auf der See schneller als in stillem Wasser fortgetrieben und die Kraftwirkung durch die Wogen nicht gehemmt, da die Veränderung der Schnelligkeit der Maschinenwirkung nicht über ein bis zwei Umdrehungen in einer Minute ging. Der Lauf des Schiffes wurde bei heftigem Winde nicht gehemmt, und es war keine verstärkte Schwingung der Schaufeln merklich. Das Dampfschiff Confiance legte in 54 Stunden einen Weg zurück, zu welchem ein anderes Dampfschiff von gleicher Kraft, der Carron, 84 Stunden brauchte. Au-

ßer der Ersparung an Feuerungsmitteln, die auf 10 Bushel (840 Pfund) in einer Stunde angeschlagen wird, und an Zeit, gewähren jene Räder noch andere Vortheile, die theils in der bereits angedeuteten geschwindern Bewegung des Schiffs, theils in dem Umstande liegen, daß das Schiff sowohl als die Maschine durch die verbesserten Räder weniger leidet. Die Räder sind überdieß so dauerhaft, daß sie nach einer sechswöchentlichen Fahrt auf stürmischer See keine Beschädigung erlitten hatten.

Dieses Schaufelrad sehen wir in Fig. 70. Die Erfindung besteht darin, daß das Rad, welches die Schaufeln trägt, sich um einen Mittelpunkt dreht und die Halbmesser-Arme, welche die Schaufeln bewegen, um einen andern sich drehen. Es sei ABCDEFGHI der polygonische Umfang des Schaufelrades, der aus geraden Stangen besteht, welche an den Endpunkten der Speichen des Rades verbunden sind. Das Rad dreht sich um die von der Maschine bewegte Achse und sein Centrum ist bei O. In sofern gleicht dieses Rad dem gewöhnlichen Schaufelrade, aber die Schaufeln sind nicht, wie bei dem gewöhnlichen Rade, bei ABC u. s. w. befestigt, um sich immer nach dem Centrum O zu richten, sondern so gestellt, daß sie sich um Achsen drehen, die immer horizontal sind, und sie können daher in jeden beliebigen Winkel gegen das Wasser gestellt werden. Von den Mittelpunkten, um welche diese Schaufeln sich drehen, gehen kurze Arme K aus, die an die Schaufeln unter einem Winkel von ungefähr 120° befestigt sind. Eine diesem Arme K gegebene Bewegung wird daher der Schaufel eine übereinstimmende Winkelbewegung mittheilen, so daß sie sich um ihre Achse dreht. An den Endpunkten der Arme K befindet sich ein Zapfen, an welchen die Enden der Halbmesser-Arme L befestigt sind, so daß der Winkel zwischen jedem Arme L und dem kurzen Schaufelarm K durch jede dem Arme L mitgetheilte Bewegung verändert werden kann. Die Arme L sind am andern Ende mit dem Centrum P verbunden, um welches sie sich drehen können. Da nun die Punkte ABC u. s. w., die Zapfen, um welche die Schaufeln sich drehen, im Umfange eines Kreises bewegt werden, dessen Mittelpunkt O ist, so sind sie stets in gleicher Entfernung von diesem Punkte und werden daher

beständig ihre Entfernung von dem andern Centrum P verändern. Kommt nun eine Schaufel in ihrer Umdrehung zu dem Punkte, wo das Centrum P genau zwischen ihr und dem Centrum O liegt, so ist ihre Entfernung von P geringer als in jeder andern Stellung. Verläßt sie diesen Punkt, so wird die Entfernung von dem Centrum P allmälig größer, bis sie in ihrer Umdrehung auf den entgegengesetzten Punkt kommt, wo das Centrum O zwischen ihr und P ist, und dann ist ihre Entfernung von P am größten. Diese beständige Veränderung der Entfernung zwischen jeder Schaufel und dem Centrum P stimmt überein mit der Veränderung des Winkels zwischen dem Arme L und dem kurzen Schaufel-Arme K; wenn die Schaufel sich dem Centrum P nähert, vermindert sich allmälig der Winkel, und wenn die Entfernung der Schaufel von P zunimmt, wird auch der Winkel größer. Diese Veränderung der Größe des Winkels, welche sich nach der wechselnden Stellung der Schaufel gegen das Centrum P richtet, sehen wir in der Figur. Die Schaufel D ist P am nächsten, und wir sehen, daß der Winkel zwischen L und K sehr spitzig ist. Bei E wird der Winkel zwischen L und K größer, ist aber noch immer ein spitziger; bei F wird er zu einem rechten Winkel, bei G wird er stumpf, und bei K, wo er am weitesten vom Centrum P entfernt ist, wird er sehr stumpf. Er vermindert sich wieder bei I und wird ein rechter Winkel zwischen A und B. Diese beständige Veränderung der Richtung des kurzen Armes K ist nothwendig von einer gleichmäßigen Veränderung in der Stellung der mit ihm verbundenen Schaufel begleitet, und dem zweiten Centrum P kann eine solche Stellung gegeben werden, daß die Schaufel, wenn sie in das Wasser eintritt und aus demselben wieder hervortaucht, zur Forttreibung des Schiffes am vortheilhaftesten wirkt und daher nicht sehr jener Schwingung ausgesetzt ist, die hauptsächlich daraus entsteht, daß das Wasser durch die schräge Wirkung der Schaufeln abwechselnd gedrückt und gehoben wird.

118.

Wenn man annähernd bestimmen will, wie weit jetzt

die bei der Dampfschifffahrt wirkende Kraft geht, so ist es nothwendig, das gegenseitige Verhältniß zu beachten, in welchem der Tonnengehalt des Schiffes, die Größe, das Gewicht und die Kraft der Maschinerie, der für den Feuerungsbedarf bestimmte Raum und die bei jedem Wetter erreichbare mittlere Geschwindigkeit zu einander stehen, so wie auch den Umstand, ob das Schiff zur Fortschaffung von Gütern und Waaren oder bloß von Briefen und Reisenden dienen soll. Der für die bewegende Kraft bestimmte Theil des Tonnengehalts des Schiffs besteht in dem Raume, den die Maschine einnimmt, und dem für die Feuerungsmittel nöthigen Raum, dessen Umfang nothwendig von der Länge des Weges abhängt, den das Schiff machen muß, ehe es frischen Feuerungsvorrath einnehmen kann. Ist die Reise nicht lang, so kann dieser Raum beschränkt sein, und es bleibt ein größerer Raum für die Zubehörungen der Maschinerie übrig. Bei einer längeren Reise ist das Verhältniß umgekehrt. Es folgt daraus, daß auf einer kurzen Reise Schiffe von einer im Verhältniß zum Tonnengehalt größeren Wirkungskraft gebraucht werden können als auf einer langen.

Rechnet man im Durchschnitte 51 Reisen für die Dampfschiffe der englischen Admiralität, die von Falmouth nach Corfu hin und zurück gehen, in einem Zeitraume von vier Jahren, so ergibt sich, daß jedes Schiff, mit Ausschluß des Aufenthalts, $7\frac{1}{4}$ englische Meilen in einer Stunde zurückgelegt hat, wenn man die gerade Linie zwischen beiden Punkten ins Auge faßt und auf die nothwendigen Abweichungen im Laufe des Schiffs nicht Rücksicht nimmt. Die Schiffe, welche diese Reise machten, hielten 350 bis 700 Tonnen, und hatten Dampfmaschinen von 100 bis 200 Pferdekräften und Kohlenvorräthe von 80 bis 240 Tonnen. Das Verhältniß zwischen der Kraft und dem Tonnengehalt wechselte von 1 Pferde für 3 Tonnen zu 1 Pferde für 4 Tonnen.

Im Allgemeinen kann man annehmen, daß für die kürzesten Reisen das Verhältniß der Kraft zu dem Tonnengehalt eine Pferdekraft auf zwei Tonnen ist, wogegen für die läng-

sten Reisen das Verhältniß eine Pferdekraft auf vier Tonnen sein würde.

Schiffe, in welchen dieses Verhältniß der Kraft zu dem Tonnengehalt statt findet, können bei mittlerem Wetter $7\frac{1}{4}$ englische Meilen in einer Stunde fahren, was 174 Meilen auf den Tag von 24 Stunden gleich kommt. Auf sehr langen Reisen aber kann ein Dampfschiff selten ohne alle Unterbrechung wirken; außer den durch das Wetter verursachten Hemmungen gibt es zuweilen Störungen in der Maschinerie, besonders in den Schaufelrädern. Wir werden daher zu einer richtigern Schätzung kommen, wenn wir auf langen Reisen den täglichen Lauf eines Dampfschiffes zu 160 englischen Meilen annehmen.

Aus sorgfältigen Vergleichungen des Feuerungsbedarfs für Schiffskessel und gewöhnliche Dampfmaschinen-Kessel, die Watt's Sohn in Soho bei Birmingham gemacht hat, ergibt sich, daß für Schiffskessel weniger Feuerung nöthig ist als für gewöhnliche Kessel und zwar in dem Verhältnisse von 2 zu 3. Ich habe nach Beobachtungen in den Manufaktur-Bezirken des nördlichen Englands gefunden, daß der Kohlenverbrauch für gewöhnliche Kessel, die nicht gerade zu den kleinsten gehören, im Durchschnitt zu 15 Pfund Kohlen auf eine Pferdekraft in einer Stunde angenommen werden kann. Aus diesem Ergebnisse, dessen Richtigkeit ich verbürge, kann man in Verbindung mit dem Erfolge der in Soho angestellten Versuche den Schluß ziehen, daß der Kohlenverbrauch in Schiffs-Dampfmaschinen im Durchschnitt zu 10 Pfund auf eine Pferdekraft in einer Stunde anzunehmen ist. Wir können daher den täglichen Kohlenverbrauch, wenn wir annehmen, daß die Maschine 22 Stunden wirkt und 2 Stunden für zufällige Unterbrechungen in Abrechnung kommen, zu 220 Pfund auf eine Pferdekraft bestimmen. Auf kurzen Reisen, wo keine Hemmungen statt finden, wird der tägliche Verbrauch etwas mehr betragen, aber dagegen ein längerer Weg zurückgelegt werden.

Bleibt das Verhältniß der Wirkungskraft zu dem Tonnengehalte unverändert, so verändert sich die Geschwindigkeit

des Schiffs nicht bedeutend. Wir können daher annehmen, daß 10 Pfund Kohlen auf eine Pferdekraft ein für lange Seereisen bestimmtes Dampfschiff $7\frac{1}{4}$ englische Meilen in gerader Richtung forttreiben werden und folglich 138 Pfund nöthig sind, wenn es 100 englische Meilen zurücklegen soll. Die das mittelländische Meer befahrenden Dampfschiffe können Feuerungsbedarf in dem Verhältnisse von $1\frac{1}{4}$ Tonne auf eine Pferdekraft einnehmen, aber das Verhältniß ihrer Wirkungskungskraft zu ihrem Tonnengehalte ist größer als dasjenige, das wahrscheinlich für längere Fahrten würde bestimmt werden. Wir dürfen daher wohl annehmen, daß es ausführbar sei, ein Dampfschiff zu bauen, das $1\frac{1}{2}$ Tonnen Kohlen für eine Pferdekraft einnehmen kann. Nach dem angegebenen Verhältnisse des Feuerungsbedarfs würde dieß hinlänglich sein, das Schiff 2400 englische oder ungefähr 530 deutsche Meilen weit bei mittlerem Wetter zu bringen; da aber immer ein Feuerungsbedarf für Nothfälle in Anschlag gebracht werden muß, so können wir es nicht für möglich halten, daß es dieses äußerste Ziel erreichen würde. Rechnen wir daher den für Nothfälle bestimmten Bedarf zu $\frac{1}{4}$ Tonne auf eine Pferdekraft, so würde ein Dampfschiff, ohne unterwegs frische Feuerungsmittel einzunehmen, einen Weg von 2000 englischen oder ungefähr 440 deutschen Meilen machen können.

119.

Jene Berechnung ist auf Versuche gegründet, die meist mit Kohlen aus dem nördlichen England angestellt wurden. Es geht jedoch aus Zeugnissen hervor, daß die Kohlen von Llangennech in Wales weit kräftiger sind, als die Kohlen von Newcastle, und zwar in dem Verhältniß von 9 zu $6\frac{1}{2}$.

Schiffe von 800 bis 1000 Tonnen mit Dampfmaschinen von 200 bis 250 Pferdekräften*) sind am besten geeignet,

*) Die Maschinen in Dampfschiffen haben gewöhnlich eine weit größere Wirkungskraft als die namentliche. Wir beziehen uns jedoch immer auf diese oder diejenige Kraft, mit welcher sie bei einem Dampfe von gewöhnlichem Drucke wirken würden.

lange Reisen zurückzulegen, ohne unterwegs Feuerungsmittel einzunehmen. Solche Schiffe könnten 300 bis 400 Tonnen Kohlen mitnehmen, welche, 20 bis 25 Tonnen auf den Tag gerechnet, wohl für 14 Tage hinreichen würden. Wenden wir aber diese Ergebnisse auf bestimmte Fälle an, so dürfen wir nicht vergessen, daß sie nur durchschnittliche Berechnungen sind, und diejenigen Veränderungen erleiden, welche in besondern Fällen durch die Umstände herbeigeführt werden. Wird eine Reise bei vorherrschend widrigem Winde gemacht, so läßt sich die durchschnittliche Geschwindigkeit nicht erreichen, oder, was dasselbe ist, es ist mehr Feuerungsbedarf für eine gegebene Entfernung nöthig. Gegen einen heftigen entgegengesetzten Wind kann selbst ein starkes Dampfschiff nicht mehr als 2 bis 3 englische Meilen in einer Stunde zurücklegen.

120.

Aus den Ergebnissen der Erfahrungen, die man in dem, Großbritannien umgebenden Meere gemacht hat, geht als Thatsache hervor, daß durch Vergrößerung des Verhältnisses der Wirkungskraft zu dem Tonnengehalte eine Ersparung an Feuerungsbedarf sich bewirken läßt, während zu gleicher Zeit die Schnelligkeit der Fahrt vermehrt wird. Dieß scheint auf den ersten Blick mit der bekannten Theorie von dem Widerstande fester Körper, die sich durch flüssige bewegen, nicht vereinbar zu sein, weil dieser Widerstand in demselben Verhältnisse zunimmt, wie das Quadrat der Geschwindigkeit. Dieses Gesetz aber gründet sich auf die Voraussetzung, daß der eingetauchte Theil des schwimmenden Körpers derselbe bleibe. Ich habe mich jedoch auf Kanälen überzeugt, daß, wenn die Geschwindigkeit eines Bootes über einen gewissen Punkt wächst, die Tiefe der Eintauchung schnell abnimmt, und auf einem großen Dampffloß im Hudson fand man, daß es, wenn die Geschwindigkeit zu 20 englischen Meilen in einer Stunde stieg, um 7 Zoll weniger tief im Wasser ging. Ich zweifle daher nicht, daß die vermehrte Geschwindigkeit der Dampfschiffe eine ähnliche Wirkung haben werde, und sie sich höher im Wasser heben. Obgleich der Widerstand vermöge ihrer ver-

mehrten Geschwindigkeit wächst, so wird er doch in einem noch größeren Verhältnisse vermöge ihrer verminderten Eintauchung vermindert.

Was indeß auch die Ursache sein möge, so viel ist gewiß, daß der Widerstand bei der Bewegung durch das Wasser vermindert werden muß, weil die bewegende Kraft immer im Verhältniß zu der verbrauchten Kohlenmenge steht und zu gleicher Zeit im Verhältnisse zu dem überwundenen Widerstande. Da nun die Menge der verbrauchten Kohlen auf einem gegebenen Wege vermindert wird, während die Geschwindigkeit zunimmt, so muß auch der auf demselben Wege sich darbietende Widerstand sich verhältnißmäßig vermindern.

121.

Man erwartet, daß die Anwendung der Dampfkraft auf die Schifffahrt durch die Erbauung eiserner Schiffe erleichtert werden möchte. Man hat bis jetzt eiserne Dampfböte meist nur zur Flußschifffahrt gebraucht, aber es läßt sich nicht einsehen, warum der Gebrauch derselben so beschränkt sein sollte. Sie bieten viele Vortheile für die Seeschifffahrt dar, da sie nicht halb so schwer sind als hölzerne Schiffe von gleichem Tonnengehalt, folglich bei gleicher Ladung weniger tief im Wasser gehen und daher der forttreibenden Kraft weniger Widerstand leisten, oder bei gleicher Eintauchung und gleichem Widerstande werden sie eine verhältnißmäßig schwere Ladung tragen. Die Beschaffenheit des Stoffes, woraus sie bestehen, macht sie steifer und unnachgiebiger als Holz und sie sind nicht den leichten Veränderungen unterworfen, die in der Lage der Planken auf Seereisen entstehen. Eiserne Schiffe haben auch den Vorzug, daß sie gegen das Scheitern auf Klippen mehr gesichert sind. Wenn ein hölzernes Schiff scheitert, so zerbricht eine Planke und es entsteht eine Oeffnung, die weit größer ist, als die Klippe, welche den Riß verursacht. Scheitert ein eisernes Schiff, so erhält es entweder bloß eine Beule oder ein Loch, das nicht größer ist als die Klippe, auf welche es stößt. Nach der Aussage eines Augenzeugen sank das eiserne Boot Alburkah und stieß auf seinen Anker, wobei der

Boden eines hölzernen Schiffes wahrscheinlich wäre zersplittert worden, aber jenes Fahrzeug bekam bloß eine Beule. Nicht minder wichtig ist, besonders in heißen Erdgegenden, der Vortheil, daß eiserne Schiffe kühler und von Ungeziefer frei sind.

122.

Die größte Geschwindigkeit, die bis jetzt durch Anwendung der Dampfkraft auf die Schifffahrt erlangt wurde, fand bei einem auf dem Hudson gebauten Fahrzeuge von eigenthümlicher Form statt. Dieses Boot oder Floß hatte zwei hohle, aus dünnen Eisenplatten gemachte Körper, welche die Gestalt von Spindeln oder Cigarren hatten, daher es das Cigarrenboot genannt wurde. In dem dicksten Theile hatten diese Spindeln 8 Fuß im Durchmesser, liefen an den Enden schmal zu und waren gegen 300 Fuß lang. Sie lagen parallel neben einander mit einem Zwischenraum von mehr als 16 Fuß und trugen ein 300 Fuß langes und 32 Fuß breites Verdeck oder Floß. Ein Schaufelrad mit einem Durchmesser von 30 Fuß und 16 Fuß breit bewegte sich zwischen den beiden Spindeln und wurde durch eine auf dem Verdeck befindliche Dampfmaschine getrieben. Dieses Fahrzeug ging gegen 30 Zoll tief im Wasser und hatte eine Geschwindigkeit von 20 bis 25 engl., oder beinahe 4 bis 5 deutschen Meilen in 1 Stunde. Es ging unter, aber der Erbauer beschäftigte sich gegen Ende des Jahres 1835 mit dem Bau eines andern noch größeren von gleicher Einrichtung. Es liegt am Tage, daß ein solches Fahrzeug für Seefahrten durchaus nicht paßt. Auf einem breiten schiffbaren Strom aber, wie der Hudson, wird es ohne Zweifel den Vorzug größerer Geschwindigkeit haben.

123.

Man hat in der neuesten Zeit mehre Plane entworfen, die Dampfkraft zu weiten Seereisen zu benutzen, und alle Bemühungen, die Dampfschifffahrt zu verbessern, haben dadurch ein erhöhtes Interesse erhalten. Ein Ausschuß des britischen Unterhauses sammelte Zeugnisse und Gutachten über

diesen Gegenstand und erstattete in der Sitzung des Jahres 1835 einen Bericht zu Gunsten eines Versuchs, eine **Verbindung zwischen Großbritannien und Indien** durch Dampfschiffe zu eröffnen. Der Bericht gab zwei Wege an, deren jeder eine Fortsetzung der bereits von der britischen Admiralität eingerichteten Linie von Dampfböten zwischen Malta und den jonischen Inseln sein würde. Einer dieser Wege soll durch Aegypten über das rothe Meer und den indischen Ocean nach Bombay oder einer andern Präsidentschaft gehen, der andere durch den nördlichen Theil Syriens zu dem Ufer des Eufrats, diesen Strom hinab zu dem persischen Meerbusen und weiter nach Bombay. Jeder dieser Wege hat seine eigenthümlichen Schwierigkeiten und auf beiden ist eine lange Seereise zurückzulegen.

Wird der Weg über das rothe Meer gewählt, so sollen Dampfböte zwischen Malta und Alexandria (860 englische Meilen)*) gehen. Ein Dampfboot von 400 Tonnen mit einer Maschine von 100 Pferdekräften würde diese Reise bei jedem Wetter im Durchschnitt in 5 bis 6 Tagen machen und täglich 10 Tonnen Kohlen verbrauchen; aber wahrscheinlich möchte man es vortheilhafter finden, ein höheres Verhältniß zwischen der Maschinenkraft und dem Tonnengehalt eintreten zu lassen. Von Alexandria könnte die Reise zu Lande über die Landenge von Suez — 4 bis 5 Tagereisen — in Karawanen und mit Kameelen gemacht werden, oder zu Lande wie zu Wasser auf dem Nil von Alexandria nach Kahira — 173 englische Meilen — und von Kahira nach Suez — 93 englische Meilen — durch die Wüste in ungefähr 5 Tagen. In Suez würde eine Station für Dampfschiffe sein und über das rothe Meer die Fahrt in drei Tagen gemacht werden. Wäre es nöthig, so könnte man Kohlenniederlagen in Kosseir,

*) Es ist zu bemerken, daß hier und bei andern Angaben von Entfernungen auf dem Meere, wie es scheint, nach englischen **Seemeilen** gerechnet wird, die größer als die Landmeilen sind. Eine Seemeile hat 5915, eine gewöhnliche englische Meile 5135 rheinländische Fuß, die geographische Meile 23661 Fuß.

Dschidda, Mocha und endlich auf der Insel Sokatra, jenseit der Mündung des rothen Meeres im indischen Ocean, einrichten. Der Weg von Suez nach Kosseir beträgt 300, von Kosseir nach Dschidda 450, von Dschidda nach Mocha 517, von Mocha nach Sokatra 632 englische Meilen. Man sieht, daß diese Entfernungen ohne Schwierigkeit selbst bei dem ungünstigsten Wetter, mit Hilfe der jetzigen Leistungskraft der Dampfschiffe zurückgelegt werden könnten. Wäre Bombay das Ziel der Fahrt, so würde der Weg von Sokatra dahin 1200 englische Meilen betragen und ließe sich im Durchschnitt bei jedem Wetter in etwa 8 Tagen mit Dampfschiffen zurücklegen. Die ganze Reise von Alexandria nach Bombay, 3 Tage für den Aufenthalt zwischen Suez und Bombay eingerechnet, würde in 26 Tagen gemacht werden, die Fahrt von Bombay nach Malta folglich 33 Tage dauern, und rechnet man 14 Tage für die Ueberfahrt von Malta nach England hinzu, so würde man 47 Tage zu der Reise von London nach Bombay brauchen.

Wäre Kalkutta das Ziel, so würde die Fahrt von Sokatra 1250 Meilen südöstlich nach den Maldiven gehen, wo eine Kohlenniederlage angelegt würde. Von den Maldiven ginge die Reise 400 Meilen weit nach der südlichen Spitze von Ceylon, Point de Galle — mit Ausnahme von Bombay der beste Hafen im britischen Indien — und von hier wäre eine Fahrt von 600 Meilen nach Madras und ungefähr eben so weit von Madras nach Kalkutta. Die Reise von London nach Kalkutta würde in ungefähr sechzig Tagen zurückgelegt werden.

In einer gewissen Jahreszeit gibt es auf dem Wege von Indien nach Suez ein mächtiges physisches Hinderniß, nämlich von der Mitte des Junius bis zu Ende des Septembers weht der südwestliche Passatwind (Mousson) mit unablässiger Heftigkeit über den indischen Ocean, besonders zwischen Sokatra und Bombay. Dieser Wind ist so stark, daß es dem stärksten Dampfschiffe nur eben möglich sein würde, ihm zu widerstehen, und die Fahrt könnte während dieser Monate nicht ohne bedeutende Beschädigungen von den Schiffen gemacht

werden, wenn anders eine ununterbrochene Fahrt in jener Jahreszeit überhaupt ausführbar wäre. Die Aufmerksamkeit des Parlaments hat sich daher auf eine andere Verbindungslinie gerichtet, die von dieser Schwierigkeit frei ist. Eine Linie von Dampfschiffen soll von Bombay über den persischen Meerbusen nach dem Eufrat gehen. Die Fahrt von Bombay nach Maskat auf der südlichen Küste des Meerbusens ist 840 englische Meilen in nordwestlicher Richtung und daher den südwestlichen Passatwinden nicht entgegengesetzt. Von Maskat nach Bassidor auf der nördlichen Küste der Einfahrt in den persischen Meerbusen sind 255 Meilen, von Bassidor nach Buschir auf der östlichen Küste des Meerbusens 300, von Buschir bis zur Mündung des Eufrat 120 Meilen. Es ist klar, daß die längste dieser Linien keine größere Schwierigkeit darbieten würde, als die Fahrt von Malta nach Alexandria. Von Basra unweit der Mündung des Eufrats nach Bir, auf dem linken Ufer des Stroms unweit Haleb, sind 1143 Meilen, eine Strecke, auf welcher sich der Flußschifffahrt keine unüberwindlichen physischen Hindernisse entgegenstellen. Der wilde Charakter der Stämme an den Ufern des Stromes bietet zwar einige Schwierigkeiten dar, doch glaubt man, daß sich durch zweckmäßige Maßregeln und durch die Mitwirkung des Paschas von Aegypten jedes aus dieser Ursache hervorgehende bedeutende Hinderniß werde überwinden lassen. Von Bir nach Skanderun, einem Hafen am mittelländischen Meere, Cypern gegenüber, geht die Reise zu Lande, die nicht ohne Schwierigkeiten, aber nicht sehr lang ist, und der Weg von Skanderun nach Malta ist ungefähr so weit als von Malta nach Alexandria. Man berechnet, daß die Reise von London nach Bombay auf diesem Wege um einige Tage kürzer sein werde als über Aegypten und das rothe Meer.

Welcher von diesen Wegen nun auch gewählt werden möge*), es ist klar, daß die Schwierigkeiten, in so fern die

*) Bekanntlich hat man seit 1835 den Versuch gemacht, die Fahrt den Eufrat hinab zu unternehmen, wobei außer den angegebenen Hin-

Kraft der Dampfmaschine dabei betheiligt ist, in dem einen Falle zwischen Sokatra und Bombay oder zwischen Sokatra und den Maldiven, in dem andern zwischen Bombay und Maskat liegen. Selbst der Weg von Malta nach Alexandria oder nach Skanderun hat Bedenklichkeiten, weil sich befürchten läßt, daß der Kessel der Dampfmaschine hier eine Rinde ansetzen werde, wenn nicht wirksame Mittel angewendet werden, diesem Nachtheile vorzubeugen. Sind indeß Hall's oder Howard's Erfindungen oder andere Vorkehrungen zu diesem Zwecke von gutem Erfolge, so wird die einzige Schwierigkeit darin liegen, die nöthigen Kohlenvorräthe für eine so lange Reise zu gewinnen. Diese Schwierigkeit ist jedoch schon auf mehren Reisen des Dampfschiffs Hugh Lindsay von Bombay nach Suez überwunden worden. Dieses Schiff machte auf seinen Fahrten einen längern Weg, indem es nicht nach Sokatra, sondern nach Aden auf der Küste Arabiens ging, eine Strecke von 1641 engl. Meilen, die es in 10 Tagen und 19 Stunden zurücklegte. Die ganze Entfernung von Bombay bis Suez ward in einem Falle in 16 Tagen und 16 Stunden, in einem andern, unter den ungünstigsten Umständen, in 23 Tagen zurückgelegt. Auf jede Fahrt kamen im Durchschnitt 21 Tage.

124.

Eine andere Verbindung durch Dampfschiffe, welche für Großbritannien und Amerika von gleichem Interesse ist, soll zwischen London und New-York eröffnet werden. Nach der Vollendung der Eisenbahn zwischen London und Liverpool wird Dublin mit London in einer durch Dampfkraft

---

dernissen auch viele aus den politischen Verhältnissen des Orients hervorgegangenen Schwierigkeiten zu überwinden waren. Nach den neuesten Nachrichten, die im Mai 1836 nach Europa kamen, hatten die beiden trefflichen eisernen Dampfböte, mit welchen der Seekapitän Chesney die Fahrt macht, den Weg bis zur Mündung des Eufrats glücklich zurückgelegt. Das größere dieser Böte ist 105 Fuß lang und 19 Fuß breit, das kleinere 87 Fuß lang und 16 Fuß breit.

bewirkten ununterbrochenen Verbindung sein. Es ist die Absicht, diese Linie durch eine Eisenbahn von Dublin bis zu irgend einem Punkte auf der westlichen Küste Irlands zu verlängern, und man hat unter anderen den Hafen Valentia*) genannt. Der nächste Punkt auf dem westlichen Continent ist St. John's in Newfoundland, 1900 englische Meilen von Valentia entfernt. Die Entfernung von St. John's nach New-York beträgt gegen 1200 Meilen, und Halifax in Neu-Schottland ist eine bequeme Mittelstation, wo es überdieß Steinkohlen in Ueberfluß gibt. Die Entfernung von Valentia nach St. John's kommt dem Punkte ziemlich nahe, den wir als wahrscheinliche Gränze der jetzigen Leistungskraft der Dampfschifffahrt bezeichnet haben. Das atlantische Meer bietet in den westlichen Winden, die fast immer auf demselben herrschend sind, ein furchtbares Hinderniß dar. Diese Winde sind die Reaction der beständigen Winde, die um den Aequator in entgegengesetzter Richtung wehen, und durch diejenigen Theile der Aequatorial-Atmosphäre hervorgebracht werden, welche, nach den nördlichen Breiten strömend, dem um den Aequator stärkeren Schwunge der Erdumdrehung von Westen nach Osten folgen. Abgesehen von dieser Schwierigkeit sind auch St. John's und Halifax, wegen des Klimas, während einiger Monate unzugänglich. Sollten diese Umstände die Ausführung des Plans hindern, so könnte ein anderer Weg gewählt werden. Man könnte von dem südlichsten Punkte Irlands oder Englands nach den Azoren fahren, eine Entfernung von ungefähr 1800 Meilen; von den Azoren nach New-York hätte man ungefähr 2000 oder von den Azoren nach St. John's 1600 Meilen.

*) Der Hafen auf der Insel Valentia ist sehr geräumig und hat zwei tiefe Ausmündungen in das Meer, welche die Einfahrt und Ausfahrt auch bei dem ungünstigsten Winde möglich machen. Der Hafen ist von Dublin ungefähr 40 deutsche Meilen entfernt.

Zwölfter Abschnitt.

Ueber die Wirkung der Dampfkraft in Maschinen überhaupt.

125.

Wir haben in den vorhergehenden Abschnitten die wichtigsten Umstände entwickelt, die sich auf die verschiedenen Arten von Dampfmaschinen beziehen, und haben jetzt nur noch einige Einzelheiten zu erklären, welche mit der Kraft, den Wirkungen und der Einrichtung dieser Maschinen in Verbindung stehen.

Es ist im ersten Abschnitte (4.) gezeigt worden, daß Wasser unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Drucke, dessen Betrag eine Quecksilbersäule von 28 Zoll anzeigt, aus dem flüssigen Zustande in den dampfförmigen übergeht, wenn es auf eine Temperatur von 80° R. steigt, uud daß der dadurch erzeugte Dampf eine der atmophärischen gleiche elastische Kraft hat. Wird jedoch das Wasser, auf welches die Wärme wirkt, einem größeren oder geringern Drucke ausgesetzt, als der atmosphärische ist, so wird es bei einem größern oder geringern Wärmegrade sieden und immer einen Dampf von derjenigen elastischen Kraft erzeugen, der dem Drucke gleich ist, unter welchem es siedet. Es ist eine eben so merkwürdige als wichtige Thatsache, daß man, um ein gegebenes Gewicht von Wasser in Dampf zu verwandeln, dieselbe Wärmemenge braucht, unter welchem Drucke und bei welchem Wärmegrade das Wasser auch sieden möge. Neh=

men wir nun an, es bewege sich in einer Röhre, deren unterer Theil einem Quadratfuß gleich sei, ein Kolben luftdicht und dampfdicht. Unmittelbar unter dem Kolben befinde sich ein Kubikzoll Wasser, das in einer dünnen Schicht auf dem Boden der Röhre ausgebreitet sei. Der Kolben habe ein, mittels eines Flaschenzuges wirkendes Gegengewicht, das dem Gewicht des Kolbens gleich sei, so daß er durch die Wirkung irgend eines Druckes unter ihm aufsteigen kann. Nun bringe man die Flamme einer Lampe an den Boden der Röhre, und das Wasser unter dem Kolben, das kein Druck von oben trifft, außer dem atmosphärischen, der auf den Kolben wirkt, wird bei einer Temperatur von 80° R. sieden und durch die fortdauernde Wirkung der Flamme endlich in Dampf verwandelt werden. Der Dampf, in welchen der Kubikzoll Wasser unter dem Kolben sich verwandelt, wird sich zu einem Kubikfuß ausdehnen, und eine dem atmosphärischen Drucke gleiche elastische Kraft ausüben, folglich der Kolben einen Fuß über seine erste Stellung in der Röhre gehoben werden, und der Kubikfuß unter ihm sich ganz mit Dampf füllen. Nehmen wir an, daß, um diese Wirkung hervorzubringen, die Lampe 15 Minuten hindurch auf die Röhre wirken müsse. Vorausgesetzt, das Wasser habe wieder seine ursprüngliche Temperatur erhalten und der Kolben sei wieder in seiner ersten Stellung, so werde auf ihn ein Gewicht gestellt, welches dem atmosphärischen Drucke gleich sei, so daß auf dem Wasser unter dem Kolben ein zweifacher atmosphärischer Drucke laste. Läßt man nun die Lampe wieder wirken, so wird das Wasser wie vorher in Dampf verwandelt werden, aber der Kolben dann nur 6 Zoll*) hoch von dem

*) Genau genommen, würde die Höhe, bis zu welcher der Kolben stiege, nicht in einem so bedeutenden Verhältnisse sich vermindern, als der Druck sich vermehrte, weil die Zunahme des Druckes nothwendig von einer Zunahme der Temperatur begleitet wäre, und folglich eine entsprechende Ausdehnung erfolgen würde. Es wird daher eine geringe Zunahme in der gesammten mechanischen Wirkung des Dampfes stattfinden. Der Unterschied ist jedoch in der Praxis nicht sehr bedeutend,

Boden gehoben werden, da sich der Dampf nur bis zur Hälfte seines frühern Rauminhalts ausdehnt. Die Temperatur, bei welcher das Wasser anfangen würde sich in Dampf zu verwandeln, würde statt 80° R. gegen 97° sein, aber die Zeit, die zwischen dem Augenblicke der ersten Anwendung der Lampe und der vollständigen Verwandlung des Wassers in Dampf verflossen ist, wird immer noch 15 Minuten sein.

Würde der Kolben mit einem Gewichte von dem doppelten Drucke der Atmosphäre belastet, so würde das Wasser durch den Druck von drei Atmosphären niedergedrückt werden. Wird die Lampe wieder angewendet, so wird das Wasser in derselben Zeit in Dampf verwandelt werden, aber der Kolben wird jetzt nur 4 Zoll über seine erste Stellung erhoben werden, und der Dampf wird daher dreimal so dicht sein, als er bei dem bloßen Drucke der Atmosphäre auf den Kolben war.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen ziehen wir mehre Schlüsse.

1. Der elastische Druck des Dampfes ist gleich dem mechanischen Druck, unter welchem das Wasser, das den Dampf erzeugt, zum Sieden gekommen ist.

2. Der Rauminhalt, welchen der Dampf füllt, vermindert sich in demselben Verhältnisse als der Druck des Dampfes zunimmt, oder mit andern Worten, die Dichtigkeit des Dampfes steht immer in gleichem Verhältnisse mit seinem Drucke.

3. Dieselbe Wärmemenge ist hinlänglich, dasselbe Wassergewicht in Dampf zu verwandeln, wie groß auch der Druck sei, unter welchem das Wasser zum Sieden gekommen ist, oder wie groß auch die Dichtigkeit und der Druck des erzeugten Dampfes sein möge.

4. Dieselbe in Dampf verwandelte Wassermenge bringt dieselbe mechanische Wirkung hervor, wie groß auch der Druck oder die Dichtigkeit des Dampfes sei. So ward im ersten Fall das Gewicht einer Atmosphäre einen Fuß hoch erhoben,

---

und gewöhnlich nimmt man an, daß die Dichtigkeit des Dampfes mit dem Drucke in gleichem Verhältniß stehe.

im zweiten Falle das Gewicht von zwei Atmosphären einen halben Fuß hoch, und im dritten Falle das Gewicht von drei Atmosphären ⅓ Fuß hoch, während in jedem Falle das Gewicht in demselben Verhältnisse zunahm als die Höhe, zu welcher es gehoben wurde, sich verminderte. Jede Gewichtzunahme wird daher ausgeglichen durch eine verhältnißmäßige Verminderung der Höhe, zu welcher es gehoben wird, und die mechanische Wirkung ist daher dieselbe.

5. Dieselbe Menge von Wärme oder Feuerung ist nöthig und hinlänglich, dieselbe mechanische Wirkung hervorzubringen, was auch der Druck des dadurch erzeugten Dampfes sei.

Wird Dampf gebraucht, einen Kolben bloß gegen den atmosphärischen Druck zu heben, so wird zwar eine bestimmte physische Kraft von demselben ausgeübt und eine mechanische Wirkung hervorgebracht werden, aber unter solchen Umständen wird er keine unmittelbar nützliche Wirkung ausüben; nachdem jedoch der Kolben gehoben worden ist und die Röhre unter ihm sich mit Dampf gefüllt hat, welcher der Atmosphäre über ihm das Gleichgewicht hält, so kann eine nützliche Wirkung von gleichem Betrage erlangt werden, wenn die Röhre abgekühlt und dadurch der Dampf wieder in Wasser verwandelt wird. Der Kolben wird dann durch die ungehemmte Kraft der Atmosphäre niedergedrückt werden, und jede daran befestigte Kette oder Stange wird durch eine gleichmäßige Kraft niedergezogen. Ist die Fläche des Kolbens, wie wir vorausgesetzt haben, einen Quadratfuß groß, so wird der atmosphärische Druck auf denselben, der vierzehn Pfund auf jeden Quadratzoll beträgt, 144 mal 14 Pfund sein, oder 2016 Pfund. Wenn nun der Kolben eine über einen Flaschenzug gehende Kette niederzöge, würde er bei dem Niedergange, Reibung und ähnliches nicht gerechnet, ein Gewicht von 2016 Pfund einen Fuß hoch heben. Da nun 2016 Pfd. nicht viel unter einer Tonne sind, so kann man, um eine runde Zahl zu nehmen, den Satz aufstellen: E i n K u b i k z o l l W a s s e r, i n D a m p f v e r w a n d e l t, w i r d d u r c h C o n d e n s a t i o n d i e s e s D a m p f e s e i n G e-

wicht von einer Tonne einen Fuß hoch heben. So wird die Dampfkraft in der atmosphärischen Maschine praktisch nützlich gemacht.

126.

Die Benutzungsart des Dampfes in Watt's einfach wirkender Dampfmaschine ist in jeder Hinsicht gleich, außer daß der Kolben, statt durch die Kraft der Atmosphäre niedergedrückt zu werden, durch den Dampf hinabgetrieben wird, dessen Druck dem atmosphärischen gleich ist. Es liegt am Tage, daß das mechanische Ergebniß dadurch nicht geändert wird.

Wir haben angegeben, daß eine gegebene Dampfmenge eine bedeutend höhere Kraft ausübt, wenn man den Dampf absperrt, nachdem der Kolben einen Theil seines Niederganges gemacht hat, und das weitere Hinabsteigen durch die Expansiv-Kraft des bereits zugeströmten Dampfes bewirken läßt. Wir wollen nun ausführlicher das Prinzip erklären, auf welchem diese Kraftvermehrung beruht.

Es sei AB Fig. 71 die Röhre, deren Boden einem Quadratfuß gleich ist, und P der darin sich bewegende Kolben, der auf einem Kubikzoll Wasser ruht, das auf dem Boden sich ausbreitet; das leere Gefäß W halte dem Kolben völlig das Gleichgewicht. Durch die Anwendung einer Lampe wird das Wasser in Dampf verwandelt werden, der den Druck einer Atmosphäre hat, und der Kolben wird von P zu P′ einen Fuß hoch gehen, wenn sich der Raum unter ihm mit Dampf füllt, und das Gefäß W wird einen Fuß tief niedersteigen. Es werde nun eine halbe Tonne Wasser in das Gefäß W gegossen, und das Gewicht desselben wird den Kolben P′ aufwärts ziehen, so daß der Dampf unter ihm sich in einem größeren Raum ausdehnt. Als der Kolben P′ bloß das Gegengewicht des leeren Gefäßes W hatte, ward er durch das ganze Gewicht der Atmosphäre über ihm niedergedrückt, welches gegen eine Tonne beträgt; nun aber hat die Hälfte dieses Druckes als Gegengewicht die halbe Tonne Wasser, die in das Gefäß W gegossen ist, und folglich wird die den Kolben

P′ niederdrückende Kraft nur eine halbe Tonne oder die Hälfte ihres früheren Betrages sein. Der Kolben wird daher steigen bis der Druck des Dampfes unter ihm sich in demselben Maße vermindert hat. Nach der bereits gegebenen Erklärung wird dieß geschehen, wenn sich der Dampf in das Doppelte seines früheren Rauminhaltes ausdehnen kann, folglich wenn der Kolben zu P′′ einen Fuß höher gestiegen ist, oder zwei Fuß von dem Boden der Röhre, so wird dann der Dampf genau dem von oben auf den Kolben wirkenden Drucke das Gleichgewicht halten und der Kolben daher stehen bleiben. Das Gefäß W mit der halben Tonne Wasser wird einen Fuß tiefer niedergestiegen sein oder zwei Fuß unter seinen ersten Stand. Wird nun der Dampf abgekühlt und wieder in Wasser verwandelt, und zugleich noch eine halbe Tonne Wasser in das Gefäß W gefüllt, so wird, da der Druck unter dem Kolben gänzlich entfernt ist, der atmosphärische Druck über ihm mit unverminderter Kraft wirken, und diese Kraft, die eine Tonne beträgt, das Gefäß W mit seinem Inhalte hinaufziehen. Geht der Kolben, wie es geschehen wird, auf den Boden der Röhre hinab, so wird die Tonne Wasser in dem Gefäße W zwei Fuß hoch senkrecht gehoben werden*).

Man sieht, daß hier die verbrauchte Dampfmenge nicht größer ist als in dem ersten Falle, nämlich der durch das Sieden eines Kubikzolls Wasser erzeugte Dampf. Betrachten wir aber die mechanische Wirkung, die dadurch hervorgebracht worden ist. Eine halbe Tonne Wasser ist einen Fuß tief hinabgestiegen, während eine Tonne zwei Fuß hoch gehoben wurde. Wenn wir die Kraft, die verloren ging, indem eine halbe Tonne einen Fuß tief niederstieg, von der Kraft abziehen, die wir erlangt haben, indem eine Tonne zwei Fuß gehoben wurde, so erhalten wir für die ganze mechanische Wirkung $1\frac{1}{2}$ Tonne, einen Fuß hoch gehoben; denn es ist klar,

*) Strenge genommen, würde das Wasser, das sich nach unserer Annahme im Gefäße W befinden soll, dem atmosphärischen Druck nur eben das Gleichgewicht halten. Es muß daher dem Kolben ein kleines Uebergewicht gegeben werden, um die Bewegung hervorzubringen.

daß eine halbe Tonne von dem niedrigsten Punkte, auf welchen das Gefäß W hinabstieg, einen Fuß über jenen Punkt gehoben worden ist, und eine Tonne ist einen andern Fuß hoch gehoben worden, welches gleich ist $1\frac{1}{2}$ Tonne, einen Fuß hoch gehoben.

Vergleichen wir dieß mit der in dem ersten Falle hervorgebrachten Wirkung, wo der Dampf condensirt ward, ohne ihn auszudehnen, so ist es klar, daß bei der ganzen hier erzeugten mechanischen Wirkung eine Zunahme von 50 Prozent statt findet.

Die Kraftzunahme des Dampfes durch Expansion geht aber noch weiter. Statt den Dampf zu condensiren, wenn der Kolben bei P'' angekommen ist, gieße man noch mehr Wasser in das Gefäß W, und zwar $\frac{1}{6}$ Tonne zu der halben Tonne, die es schon enthält, und der wirkliche Druck auf den Kolben P'', der nur eine halbe Tonne beträgt, wird durch das größere Gewicht in dem Gefäße W überwogen werden, und der Kolben folglich steigen. Er wird stehen bleiben, wenn der Dampf durch Ausdehnung einen Theil seiner Kraft verliert, der dem vermehrten Gewichte gleich ist, welches das Gefäß W erhalten hat. Dieses Gefäß, das nach und nach mit $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{6}$ Tonne Wasser gefüllt ward, enthält nun $\frac{2}{3}$ Tonne, folglich beträgt der den Kolben wirklich hinabtreibende Druck nur $\frac{1}{3}$ Tonne, und um mit diesem in das Gleichgewicht zu kommen, muß der Dampf sich in das Dreifache des Rauminhalts ausdehnen, den er einnahm, als er dem atmosphärischen Drucke gleich war. Er muß daher auf P''' steigen, drei Fuß über dem Boden der Röhre. Wird nun der Dampf in der Röhre condensirt und zu gleicher Zeit noch $\frac{1}{3}$ Tonne Wasser in das Gefäß W gefüllt, daß der ganze Inhalt eine Tonne beträgt, so wird der Kolben niedersteigen, da er durch den ungehemmten atmosphärischen Druck hinabgetrieben wird, und die in dem Gefäße W enthaltene Tonne Wasser wird 3 Fuß hoch senkrecht gehoben werden.

In diesem Falle, wie in dem vorigen, ist die verbrauchte Dampfmenge aus einem Kubikzoll Wasser erzeugt, aber ihre mechanische Wirkung ist noch höher gesteigert worden. Wol-

len wir ihren Betrag berechnen, so müssen wir erwägen, daß eine halbe Tonne Wasser zwei Fuß gefallen ist, was so viel ist als eine Tonne, einen Fuß gefallen, und überdieß ist $\frac{1}{6}$ Tonne einen Fuß gefallen. Der ganze Verlust durch das Fallen des Wassers ist daher $1\frac{1}{6}$ Tonne, einen Fuß tief, gewesen, wogegen die durch das Aufsteigen des Wassers gewonnene Kraft eine Tonne, drei Fuß gehoben, gewesen ist, was so viel ist als drei Tonnen, einen Fuß hoch gehoben. Ziehen wir nun von 3 Tonnen $1\frac{1}{6}$ ab, so bleibt übrig $1\frac{5}{6}$, einen Fuß hoch gehoben. Diese Wirkung ist über 80 Prozent höher als in dem ersten Falle, wo der Dampf nicht ausgedehnt wurde.

Gehen wir in dieser Untersuchung einen Schritt weiter. Wir nehmen an, bei der Ankunft des Kolbens in P''' werde zu dem Wasser in dem Gefäße W noch $\frac{1}{12}$ Tonne gegossen, wodurch mit dem bereits darin enthaltenen Wasser der Inhalt auf $\frac{3}{4}$ steigt, so wird der wirkliche Druck auf den Kolben nur $\frac{1}{4}$ des atmosphärischen betragen. Der Dampf würde diesem das Gleichgewicht halten, wenn er sich auf das Vierfache seines früheren Rauminhaltes ausdehnte, und der Kolben würde daher bei P'''', vier Fuß über dem Boden der Röhre, in einen Zustand der Ruhe kommen, und das Gefäß W 4 Fuß senkrecht hinabgestiegen sein. Wird nun der Dampf in der Röhre condensirt, wie in den frühern Fällen, und zugleich noch $\frac{1}{4}$ Tonne Wasser in das Gefäß W gefüllt, so wird der Kolben auf den Boden der Röhre hinabsteigen, und die Tonne Wasser in dem Gefäße wird 4 Fuß hoch senkrecht gehoben werden. Wollen wir die dadurch erlangte mechanische Wirkung bestimmen, so müssen wir, wie vorher, den Gesammtbetrag der durch das Fallen des Wassers verlorenen Kraft von der durch die Hebung desselben gewonnenen Kraft abziehen. Das Wasser ist in drei verschiedenen Theilen gefallen, erstens $\frac{1}{2}$ Tonne 3 Fuß senkrecht, was so viel ist als $1\frac{1}{2}$ Tonne 1 Fuß tief; zweitens $\frac{1}{6}$ Tonne 2 Fuß tief, so viel als $\frac{1}{3}$ Tonne 1 Fuß tief, und drittens $\frac{1}{12}$ Tonne 1 Fuß tief. Diese Theile betragen zusammen $1\frac{11}{12}$, 1 Fuß tief gefallen. Eine Tonne ist 4 Fuß gehoben worden, so viel als 4 Tonnen 1 Fuß hoch;

ziehen wir davon die durch das Fallen verlorene Kraft ab, so bleiben als Gewinn $2\frac{1}{12}$, einen Fuß hoch gehoben, beinahe 108 Prozent mehr als die Kraft, welche durch die Condensation des Dampfes ohne Expansion gewonnen wurde.

Die Theorie setzt der Zunahme der auf diese Weise erlangten mechanischen Wirkung keine Gränze. Nach der von uns gegebenen Erläuterung würde man, um die größtmögliche Wirkung durch einen gegebenen Grad der Expansion des Dampfes zu erlangen, das Wasser oder ein anderes Gegengewicht dem Gefäße W nicht in einzelnen Theilen, wie wir vorausgesetzt haben, zuführen müssen, sondern in einem stetigen Zuflusse, um ein regelmäßiges Aufsteigen des Kolbens hervorzubringen.

Dieß ist das Prinzip, auf welchem die Vorzüge der Expansiv-Maschine von Watt und Hornblower beruhen, in so fern es sich ohne höhere mathematische Analyse erklären läßt.

127.

Wir haben jedoch bis jetzt nur das, durch die Condensation des Dampfes hervorgebrachte Ergebniß der Wirkung beachtet, und wollen nun untersuchen, wie die Wirkung geschieht.

Der Kolben P sei mittels eines Stabes mit einer Last verbunden, die gehoben, oder mit einem Widerstande, der überwunden werden soll. Beträgt diese Last eine Tonne, so ist die ganze auf den Kolben wirkende Last zwei Tonnen, nämlich eine Tonne als der atmosphärische Druck, die andere als das Gewicht der Last. Wirkt Hitze auf das Wasser, so wird Dampf erzeugt, und ist das Wasser vollkommen verdünstet, so wird der Kolben 6 Zoll hoch von dem Boden der Röhre gehoben werden. Die gesammte mechanische Wirkung ist daher 1 Tonne, 6 Zoll hoch gehoben, so viel als $\frac{1}{2}$ Tonne, 1 Fuß hoch gehoben.

Ist die auf den Kolben wirkende Last 2 Tonnen, so wirkt auf das Wasser unter demselben ein Gesammtdruck von 3 Tonnen, mit Einschluß des atmosphärischen Druckes. Wird das

Wasser unter diesem Drucke in Dampf verwandelt, so hebt es den Kolben und seine Last 4 Zoll hoch; die nützliche mechanische Wirkung besteht daher in 2 Tonnen, $\frac{1}{3}$ Fuß hoch gehoben, oder $\frac{2}{3}$ Tonne, 1 Fuß hoch. Wäre der Kolben mit 3 Tonnen belastet, so würde die mechanische Wirkung sein $\frac{3}{4}$ Tonne, 1 Fuß hoch gehoben.

Es geht aus diesen Erörterungen hervor, daß, wenn die unmittelbare Kraft eines Dampfes von größerem Drucke als der atmosphärische ist, ohne Condensation angewendet wird, die gesammte mechanische Wirkung immer geringer ist als diejenige, die durch Condensation des atmosphärischen Dampfes ohne Expansion hervorgebracht wird; daß aber, je größer der Druck ist, unter welchem der Dampf erzeugt wird, desto geringer der Unterschied zwischen diesen Wirkungen ist. Im Allgemeinen wird das Verhältniß der mechanischen Wirkung des Dampfes von hoher Spannung zu der durch Condensation des atmosphärischen Dampfes hervorgebrachten Wirkung sein wie die Zahl der Atmosphären, die den Druck des Dampfes angibt, zu derselben Zahl mit Hinzufügung von eins. Ist z. B. der Dampf unter dem Drucke von 6 Atmosphären hervorgebracht, so wird das Verhältniß seiner Wirkung zu der Wirkung der Condensation des atmosphärischen Dampfes sein wie 6 zu 7.

128.

Eine andere mechanische Benutzungsart der Dampfkraft besteht darin, die unmittelbare Wirkung desselben mit Condensation zu verbinden, aber ohne Expansion.

Der Kolben sei, wie vorher, mit einer Tonne belastet. Die Verdampfung des Wassers hebt ihn 6 Zoll hoch, und in so fern ist das Ergebniß wie 1 Tonne, $\frac{1}{2}$ Fuß hoch gehoben; aber angenommen, die Kolbenstange wirke auch mittels einer über ein Rad laufenden Kette oder eines Seiles auf ein zu hebendes Gewicht, so kann der Dampf, der eben eine Tonne 6 Zoll hoch gehoben hat, condensirt werden, und der Kolben wird mit der Kraft von einer Tonne in den dadurch entstan-

denen luftleeren Raum hinabsteigen, und eine andere Tonne kann auf diese Weise einen halben Fuß hoch gehoben werden. Die gesammte von dem Dampfe erlangte mechanische Kraft ist dann, wenn zu ihrer unmittelbaren Leistung die durch Condensation gewonnene Wirkung hinzugefügt wird, 1 Tonne, 1 Fuß hoch gehoben, eine Wirkung, die genau derjenigen gleich ist, welche durch Condensation des atmosphärischen Dampfes erlangt wird.

Wird der Kolben mit 2 Tonnen belastet, so wird die unmittelbare Wirkung desselben, wie wir gezeigt haben, diese zwei Tonnen 4 Zoll hoch heben, was so viel ist, als $\frac{2}{3}$ Tonne 1 Fuß hoch gehoben. Wird dieser Dampf condensirt, so kann eine Tonne auf dieselbe Weise gehoben werden, indem der Kolben $\frac{1}{3}$ Fuß hinabgeht, oder, was dasselbe ist, $\frac{1}{3}$ Tonne wird 1 Fuß hoch gehoben.

Verfolgt man diese Erörterungen, so wird sich ergeben, daß, wenn die unmittelbare Kraft eines Dampfes von hoher Spannung mit der durch Condensation gewonnenen mittelbaren Kraft vereinigt wird, die gesammte mechanische Wirkung genau der mechanischen Wirkung gleich ist, welche durch die bloße Condensation des atmosphärischen Dampfes hervorgebracht werden kann.

129.

Wird das Prinzip der Expansion auf die unmittelbare Wirkung eines Dampfes von hoher Spannung angewendet, so lassen sich Vortheile gewinnen, die denjenigen gleich sind, welche wir bereits in Beziehung auf die Methode der Condensation erklärt haben.

Wir nehmen an, der Kolben sei mit drei Tonnen belastet. Durch die Verdampfung des Wassers unter demselben wird dieses Gewicht, mit Einschluß des atmosphärischen Druckes, 3 Zoll hoch gehoben werden. Wird nun eine Tonne hinweggenommen, so werden die übrigen zwei Tonnen durch die Ausdehnung des Dampfes noch einen Zoll hoch gehoben. Nimmt man auch die zweite Tonne hinweg, so wird der noch mit einer Tonne belastete Kolben durch die Ausdehnung des

Dampfes 6 Zoll hoch von dem Boden steigen. Diese Folgen ergeben sich unmittelbar aus dem Grundsatze, daß sich der Dampf in dem Verhältnisse ausdehnt, als der Druck auf denselben sich vermindert, wobei aber zu bemerken ist, daß in diesem Falle der atmosphärische Druck, der eine Tonne beträgt, immer dem Gewichte hinzugefügt werden muß. Es werden dabei drei verschiedene Wirkungen hervorgebracht. Eine Tonne wird 3 Zoll hoch gehoben, oder $\frac{1}{4}$ Tonne 1 Fuß hoch, die andere Tonne 4 Zoll hoch, oder $\frac{1}{3}$ Tonne 1 Fuß hoch, die dritte 6 Zoll hoch, oder $\frac{1}{2}$ Tonne 1 Fuß hoch. Diese Wirkungen betragen zusammen $1\frac{1}{12}$ Tonne, 1 Fuß hoch gehoben, wogegen dasselbe Gewicht, durch Dampf von hoher Spannung ohne Expansion gehoben, und $\frac{1}{2}$ Tonne, 1 Fuß hoch gehoben, gleich sein würde.

Werden 5 Tonnen auf den Kolben gestellt, so wird die Verdampfung des Wassers dieses Gewicht $\frac{1}{6}$ Fuß hoch heben. Wird nun eine Tonne hinweggenommen, so werden die übrigen 4 Tonnen von dem Boden der Röhre $\frac{1}{5}$ Fuß hoch steigen. Wird die Last noch um eine Tonne vermindert, so werden die übrigen 3 um $\frac{1}{4}$ Fuß hoch steigen, und so weiter bis die letzte Tonne $\frac{1}{2}$ Fuß hoch gehoben wird. Wollen wir die dadurch hervorgebrachte gesammte mechanische Wirkung bestimmen, so ist zu erwägen, daß die verschiedenen, aus ihrer ersten Stellung gehobenen Tonnen $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ Fuß gehoben werden, was eine Gesammtwirkung gibt, die $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ Tonne, 1 Fuß hoch gehoben, gleich ist. Diese zusammengenommen, geben überhaupt $\frac{19}{20}$ Tonnen, 1 Fuß hoch gehoben.

Im allgemeinen wird daher die auf die unmittelbare Wirkung des Dampfes von hoher Spannung angewendete Expansiv-Kraft nach demselben Gesetze ihre Wirkung steigern und auf denselben Grundsätzen beruhen, welche wir in Beziehung auf die mit Expansion verbundene Methode der Condensation aufgestellt haben.

Diese Expansiv-Wirkung des Dampfes von hohem Drucke kann mit Condensation verbunden sein und dadurch die mechanische Wirkung bedeutend erhöht werden, denn nachdem

die Gewichte, mit welchen der Kolben belastet war, nach einander so hoch als es die elastische Kraft des Dampfes erlaubte, gehoben und dann von dem Kolben hinweggenommen worden sind, wird sich der Dampf ausdehnen, bis er mit dem atmosphärischen Drucke im Gleichgewicht ist. Man kann ihn nachher noch mehr ausdehnen, wenn man zu dem Gegengewicht W auf die bereits erklärte Weise neue Gewichte hinzufügt, und wird dann der Dampf condensirt, so werden alle den Kolben hinabdrückenden Wirkungen erlangt werden, die wir früher angegeben haben. Es liegt am Tage, daß auf diese Weise die mechanische Wirkung bedeutend gesteigert werden kann.

130.

Wir haben bis jetzt den Kolben in Beziehung auf den über ihm wirkenden atmosphärischen Druck betrachtet, aber wie aus den vorhergehenden Abschnitten sich ergibt, wird in den neuern Maschinen die Luft aus dem Innern derselben getrieben, indem der Dampf erst frei durch alle Höhlungen geht und dann aus irgend einer Oeffnung entweicht, in welche, da sie nach außen sich öffnet, die Luft nicht wieder einströmen kann. Die Kolbenstange und andere Theile, die von außen in das Innere der Maschine gehen, sind gleichfalls so eingerichtet und so eingeschmiert, daß weder Dampf entweichen, noch Luft zuströmen kann. Wir haben daher jetzt die Wirkung des Dampfes gegen den Kolben P zu betrachten, wenn ein Widerstand auf ihn wirkt, der in irgend einem Grade geringer als der atmosphärische Druck ist.

In solchen Maschinen wirkt der Druck immer sowohl unmittelbar durch seine Kraft als mittelbar durch seine Condensation. Wollen wir seine Wirkungen berechnen, ohne auf Reibung und ähnliches Rücksicht zu nehmen, so haben wir nur seine gesammte, auf den Kolben wirkende Kraft zu bestimmen und die Kraft des nicht condensirten Dampfes abzuziehen, welcher der Bewegung des Kolbens widersteht.

Nehmen wir an, die gesammte auf den Kolben wirkende Kraft, nach Abzug des von dem nicht condensirten Dampf

ausgeübten Widerstandes, betrage eine Tonne, und die Länge des Cylinders sei ein Fuß, so wird jede Bewegung des Kolbens von einem Ende des Cylinders bis zu dem andern eine mechanische Wirkung hervorbringen, welche einer Tonne, einen Fuß hoch gehoben, gleich ist. Wenn in diesem Falle die Größe des Kolbens einen Quadratfuß beträgt, so wird der Druck des Dampfes dem atmosphärischen gleich sein und die in Dampfgestalt im Cylinder enthaltene Wassermenge wird einen Kubikzoll betragen, während der Dampf einen Kubikfuß einnimmt. In dem Verhältnisse als die Fläche des Kolbens größer wird, vermindert sich der Druck des Dampfes, wenn die bewegende Kraft dieselbe bleiben soll, aber mit jeder Verminderung des Druckes wird sich die Dichtigkeit des Dampfes in demselben Verhältnisse vermindern und der Cylinder immer dieselbe Wassermenge in Dampfgestalt enthalten. Auf diese Weise kann Dampf als mechanische Kraft mit einem Drucke gebraucht werden, der irgend geringer als der atmosphärische ist und bei bedeutend niedrigern Temperaturen als 80° R. Will man dieselbe mechanische Kraftwirkung erlangen, so ist es bloß nöthig, den Kolben in demselben Verhältnisse zu vergrößern, als der Druck des Dampfes vermindert wird.

Bei gehöriger Aufmerksamkeit auf diesen Umstand kann die Expansiv-Kraft des Dampfes, sowohl in der unmittelbaren Wirkung desselben als durch Condensation, mit beträchtlich vermehrtem Vortheile gebraucht werden und dieß ist das Prinzip, auf welches die Vortheile von Woolf's Erfindungen sich gründen. Wirkt Dampf von hohem Drucke, z. B. von 3 bis 4 Atmosphären, auf den Kolben und treibt er denselben nicht tief in den Cylinder hinab, so kann er abgesperrt werden und seine Ausdehnungskraft auf den Kolben wirken, bis der Dampfdruck bedeutend geringer als der atmosphärische ist. Dann kann der Dampf condensirt, ein luftleerer Raum erzeugt und das Verfahren wiederholt werden.

In der doppelt wirkenden Dampfmaschine, die gewöhnlich in Fabriken und auf Schiffen gebraucht wird, und noch mehr in den auf Dampfwagen gebrauchten Hochdruck-Maschinen scheint die vortheilhafte Anwendung des Prinzips der Expansion seither

mit Schwierigkeiten verknüpft gewesen zu sein; denn ungeachtet dadurch ohne Zweifel an Feuerung erspart werden kann, so ist es doch noch nicht allgemein geworden. Will man aus diesem Prinzip alle Vortheile ziehen, so würde es nöthig sein, daß die sich verändernde Kraft des ausgedehnten Dampfes von einer gleichen oder beinahe gleichen Veränderung des Widerstandes begleitet wäre, und dieß ließe sich in Maschinen, die zur Hebung von Wasser bestimmt sind, durch verschiedene Mittel erreichen; wenn sie aber, wie in Fabriken, einen beinahe gleichförmigen Widerstand zu überwinden haben, oder wie auf Dampfschiffen und Dampfwagen, einen sehr unregelmäßigen Widerstand, so ist die gehörige Anwendung der Ausdehnung schwierig, wenn überhaupt ausführbar.

Wir haben gesehen, daß die durch Dampf hervorgebrachte mechanische Wirkung, wenn das Princip der Ausdehnung nicht gebraucht wird, immer mit der im Dampfe enthaltenen Wassermenge in Verhältniß steht und gleichfalls in demselben Verhältnisse ist, so lange ein gegebener Grad von Expansion angewendet wird. Es ist daher klar, daß die mechanische Kraft, die durch eine Maschine ausgeübt wird oder werden sollte, in geradem Verhältnisse zu der Menge des verdünsteten Wassers steht. Wir haben auch gezeigt, daß die in Dampf übergegangene Wassermenge, wie groß auch der Dampfdruck sein möge, in geradem Verhältnisse zu der aus den Feuerungsmitteln entwickelten Wärmemenge steht, und daher auch in geradem Verhältnisse zu dem Betrage der Feuerungsmittel selbst, so lange als die Wärme in demselben Verhältnisse dem Wasser mitgetheilt wird.

131.

Die **Kraft** einer Maschine bedeutet das Verhältniß, in welchem sie fähig ist, eine gegebene Last zu heben, oder einen gegebenen Widerstand zu überwinden. Spricht man von der **Leistung** einer Maschine, so wird dadurch die Last ausgedrückt, welche mittels der Verbrennung einer gegebenen Kohlenmenge auf eine gegebene senkrechte Höhe gehoben werden kann.

Als die Dampfmaschinen zuerst in Anwendung kamen, wurden sie gewöhnlich gebraucht, um Pumpen oder Mühlen in Bewegung zu setzen, bei welchen man früher Pferde als bewegende Kraft benutzt hatte. Es war daher anfänglich angemessen, ja nöthig, die Leistung dieser Maschinen durch Beziehung auf die Wirkungen thierischer Kraft anzugeben, an welche Fabrikarbeiter, Bergleute und andere lange gewohnt waren. Wenn nun eine Maschine im Stande war, in einer gegebenen Zeit dieselbe Arbeit zu verrichten, welche eine gegebene Anzahl von Pferden mittlerer Stärke gewöhnlich leistete, so sagte man, die Maschine habe so oder so viel Pferdekräfte. Dieser Ausdruck wurde lange sehr schwankend und unbestimmt gebraucht; als aber die Dampfmaschinen immer mehr in Anwendung kamen, lag es am Tage, daß Verwirrung und Nachtheile entstehen müßten, wenn nicht jenem Ausdruck eine so bestimmte Bedeutung gegeben würde, daß die bei der Maschine beschäftigten Arbeiter sich einander klar verstehen könnten, wo von der Wirkungskraft dieser Maschinen die Rede wäre. Der Ausdruck Pferdekraft war so lange in Gebrauch gewesen, daß es angemessen war, ihn beizubehalten, und es war nur nöthig, sich über eine Einheit zu verständigen, durch welche die Kraft bestimmt werden konnte.

Man nahm die Kraft eines Pferdes von mittlerer Stärke, das täglich 8 Stunden arbeitet, als die Einheit für die Kraft der Dampfmaschine an. Smeaton berechnete den Betrag der mechanischen Wirkung, den ein Pferd geben konnte, zu 22,916 Pfund, einen Fuß hoch in einer Minute gehoben; Desaguliers aber zu 27,500 Pfund, zu derselben Höhe gehoben. Bolton und Watt ließen mit den in den Brauereien zu London gebrauchten starken Pferden Versuche machen, und nach den gewonnenen Ergebnissen nahmen sie 33,000 Pfd.*) einen Fuß hoch in einer Minute gehoben, als den Werth der Kraft eines Pferdes an. Dieß ist die jetzt allgemein gebräuchliche Annahme, und wenn man sagt, eine Maschine habe

*) Hier, wie in andern Angaben, ist von englischen Pfunden die Rede. Es sind 100 Pfund englische $97,_{007}$ Leipziger oder $80,_{973}$ Wiener Pfund.

eine gewisse Anzahl von Pferdekräften, so wird dadurch ausgedrückt, daß sie, wenn sie in gutem Stande sich befindet, fähig sei, einen Widerstand zu überwinden, welcher eben so vielmal 33,000 Pfd., einen Fuß hoch in der Minute gehoben, gleich ist. So ist eine Dampfmaschine von 10 Pferdekräften im Stande, 330,000 Pfd. 1 Fuß in einer Minute zu heben.

Da dieselbe in Dampf verwandelte Wassermenge immer dieselbe mechanische Wirkung hervorbringen wird, wie groß auch die Dichtigkeit des daraus entwickelten Dampfes sein und bis zu welchem Grade die Verdampfung gehen möge, so ist es klar, daß die Kraft einer Dampfmaschine von zwei Umständen abhängig ist, erstens von dem Verhältnisse, in welchem der Kessel mit seinem Zubehör fähig ist, Wasser zu verdampfen, und zweitens von dem Verhältnisse, in welchem die Maschine den Dampf bei ihrer Arbeit zu verbrauchen im Stande ist. Wir wollen diese beiden Umstände einzeln betrachten.

Das Verhältniß, in welchem der Kessel Dampf erzeugt, ist abhängig von dem Verhältnisse, in welchem von dem Feuer dem im Kessel enthaltenen Wasser Hitze mitgetheilt werden kann. Diese Hitze wird auf doppeltem Wege mitgetheilt, entweder durch die unmittelbare Wirkung des Feuers, das gegen die Oberfläche des Kessels Hitze ausstrahlt, oder durch die Flamme und die erhitzte Luft, welche auf die früher angegebene Weise durch die Züge strömen. Die der unmittelbaren Wirkung der ausstrahlenden Wärme des Feuers ausgesetzte Oberfläche des Kessels heißt die Feuer-Oberfläche, und diejenige, die von der Flamme uud der Luft auf dem Wege zum Schornstein Hitze erhält, die Zug-Oberfläche. Für die Erzeugung des Dampfes wirkt jene am meisten. Bei stehenden Kesseln für condensirende Maschinen, wo auf Größe und Gewicht nicht viel ankommt, hat man gefunden, daß im Allgemeinen die größte Wirkung hervorgebracht wird, wenn man 4½ Quadratfuß für die Feuer-Oberfläche und 4½ Quadratfuß für die Zug-Oberfläche auf jede Pferdekraft annimmt. Bei solchem Maß für beide Oberflächen kann ein Kubikfuß Wasser in einer Stunde verdampft werden.

Wir haben bereits gezeigt, daß die gesammte durch einen Kubikzoll Wasser ausgeübte Kraft 2016 Pfund, einen Fuß hoch gehoben, gleich ist. Ein Kubikfuß Wasser enthält 1728 Kubikzoll, und man findet daher die durch dessen Verdampfung gewonnene Kraft, wenn man 2016 mit 1728 multiplizirt. Das Product, 3,483,648 drückt die Zahl der Pfunde aus, die durch Verdampfung eines Kubikfußes Wasser einen Fuß hoch gehoben werden könnten, vorausgesetzt, daß ihre gesammte mechanische Kraft benutzt würde. Wollte man dieß aber in der Praxis voraussetzen, so würde man annehmen, daß die Maschine sich ohne eine, auf ihre eigenen Theile verwendete Kraft bewegte, man würde annehmen, daß all ihre bewegten Theile frei von Reibung und andern Ursachen des Widerstandes wären. Will man daher eine praktische Schätzung der durch die Verdampfung einer gegebenen Wassermenge erlangten nutzbaren mechanischen Kraft machen, so muß man untersuchen, wie viel von dieser Kraft an die Maschine abgegeben werde, durch welche sie geht. Bei den verschiedenen Formen der Dampfmaschine, ja fast bei jeder einzelnen Dampfmaschine, ist der Betrag dieses Verlustes verschieden; es läßt sich jedoch eine annähernde Schätzung machen, welche hinlänglich genau ist, um darauf allgemeine Schlüsse gründen zu können.

Betrachten wir nun insbesondere die Art und Weise, wie mechanische Kraft an die Maschine abgegeben wird.

Erstens muß der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder strömen, um den Kolben zu treiben, wobei er nothwendig durch mehr oder minder enge Röhren geht und daher der Reibung wie der Abkühlung auf seinem Wege ausgesetzt ist; zweitens geht durch die Wärmestrahlung des Cylinders und seines Zubehörs Hitze verloren; drittens muß die Reibung des Kolbens im Cylinder überwunden werden; viertens geht durch Lecke Dampf verloren; fünftens wird Kraft aufgewendet, indem der Dampf nach der Wirkung auf den Kolben ausgetrieben wird; sechstens ist Kraft erfoderlich, um die Ventile zu öffnen und zu schließen, um das Wasser aus dem Condensator zu pumpen und die Reibung der verschiede-

nen Achsen zu überwinden, und siebentes wird Kraft zur Bewegung der Luftpumpe verwendet.

In Maschinen, welche den Dampf nicht condensiren und daher mit Dampf von hohem Druck arbeiten, sind einige jener Quellen der Kraftverschwendung nicht vorhanden, dagegen andere desto wirksamer. Nehmen wir an, die gesammte Wirkungskraft des in einer Stunde im Kessel verdampften Wassers sei 1000, so berechnet man, daß die Verschwendung in einer Hochdruck-Maschine 392 sei, oder mit andern Worten, wenn man die ganze unverminderte, durch Verdampfung erlangte Kraft zu 10 annimmt, so werden beinahe 4 Theile durch die Bewegung der Maschine verbraucht und nur 6 geben eine Nutzwirkung.

Angenommen, in einer einfach wirkenden Maschine, die den Dampf condensirt, bezeichne 1000 die gesammte mechanische Kraft des verdunsteten Wassers, so wird 402 den bei der Bewegung der Maschine verbrauchten Theil bezeichnen, und es bleiben nur 598 Theile als praktisch wirksame Kraft übrig, oder, um runde Summen anzunehmen, wir werden hier dasselbe Ergebniß erhalten, das wir bei nicht condensirenden Maschinen finden, nämlich die gesammte Kraft des verdunsteten Wassers ist 10, wovon 4 verschwendet werden und 6 nutzbar sind.

Bei einer doppelt wirkenden Maschine ist das Verhältniß des nutzbaren Theils der Kraft etwas größer zu der Gesammtkraft. Nehmen wir für diese wieder 1000, so kommen 368 auf die von der Maschine verbrauchte Kraft, und 632 bezeichnen die Nutzwirkung.

Wir können daher im allgemeinen annehmen, daß die mechanische Krnft von $\frac{4}{10}$ des im Kessel verdampften Wassers von der Maschine aufgenommen und die übrigen sechs Zehntheile als bewegende Kraft benutzt werden. Bei dieser Bewegung ist jedoch der in der condensirenden Maschine durch den nicht condensirten Dampf hervorgebrachte Widerstand nicht in Anschlag gebracht. Der Betrag dieser Kraft ist abhängig von der Temperatur, welche das Wasser im Condensator behält. Bleibt das Wasser in einer Temperatur von 39° R.,

so wird der aus demselben aufsteigende Dampf einen Druck haben, der durch $3\frac{7}{10}$ Zoll der Quecksilber-Säule bezeichnet wird. Nehmen wir an, der Druck des Dampfes im Kessel sei 37 Zoll der Quecksilber-Röhre gleich, so wird der Widerstand des nicht condensirten Dampfes $\frac{1}{10}$ der ganzen Kraft des Kessels betragen, und wenn wir dieß zu den bereits angegebenen $\frac{4}{10}$ hinzufügen, so ergibt sich, daß die Hälfte der gesammten Kraft des Kessels verschwendet ist und nur die Hälfte des verdunsteten Wassers als bewegende Kraft zu benutzen sein würde.

Bleibt die Temperatur des Condensators 30° R., so wird der Druck des nicht condensirten Dampfes 2 Zoll der Quecksilber-Säule gleich sein, und folglich der Verlust an Kraft als ein verhältnißmäßig kleinerer Bruchtheil der ganzen Kraft sich zeigen.

Wir wollen durch ein Beispiel die Art der Schätzung der wirklichen Kraft einer Dampfmaschine erklären.

In einer gut beschaffenen doppelt wirkenden Maschine werden von 1000 Theilen der Gesammtkraft des Kessels mit Ausschluß des Widerstands des nicht condensirten Dampfes 368 von der Maschine weggenommen und 632 als nutzbare Wirkung übriggelassen. Nehmen wir nun an, der Druck des Dampfes im Kessel entspreche einer Quecksilber-Säule von 35 Zoll, so wird der tausendste Theil davon $\frac{7}{200}$ Zoll der Quecksilber-Säule entsprechen, und 632 dieser Theile werden den wirksamen Theil der Kraft ausdrücken. Multiplicirt man $\frac{7}{200}$ mit 632, so erhält man ungefähr 22. Angenommen, die Temperatur des Condensators sei 519° R., so wird der dieser Temperatur entsprechende Dampfdruck $3\frac{7}{10}$ Zoll der Quecksilber-Säule gleich sein. Zieht man dieß von 22 ab, so bleiben $18\frac{3}{10}$ Zoll übrig als die auf den Kolben wirkende Kraft, was gegen 7 Pfund auf jeden Kreiszoll gleich ist.

Hat der Durchmesser des Kolbens 24 Zoll, so wird die Oberfläche desselben aus einer Zahl von Kreiszollen bestehen, welche durch das Quadrat von 24 oder $24 \times 24 = 576$ ausgedrückt wird, und da auf jeden dieser Kreiszolle 7 Pfund drücken, so finden wir den Gesammtdruck in Pfunden, wenn wir

576 mit 7 multipliciren, was 4032 Pfund gibt. Der Raum, in welchem diese Kraft in einer Minute wirkt, wird gefunden, wenn man die Länge des Cylinders und die Zahl der Kolbenhübe in einer Minute kennt. Nehmen wir die Länge des Cylinders zu 5 Fuß, die Zahl der Kolbenhübe in einer Minute zu 21½ an, so wird bei jedem Hub*) der Kolben sich durch einen Raum von 10 Fuß bewegen und in einer Minute durch 215 Fuß gehen. Die bewegende Kraft ist daher 4032 Pfund in einer Minute durch 215 Fuß bewegt, was 215 mal 4032 gleich oder 866,880 Pfund ist, einen Fuß hoch in einer Minute gehoben.

Für jede 33,000 Pfund, die in jener Summe enthalten sind, hat die Maschine eine Pferdekraft. Um daher die Pferdekraft zu finden, dividiren wir 866,880 durch 33,000, und der Quotient ist unfähr 26, folglich hat die Maschine 26 Pferdekräfte.

Wie aber bestimmt man die Wassermenge, die der Kessel in einer Stunde für jede Pferdekraft der Maschine in Dampf verwandeln muß?

Wir wissen, daß 33,000 Pfund, einen Fuß hoch in einer Minute gehoben, eine Pferdekraft ausdrücken, oder 1,980,000 Pfund, einen Fuß hoch in einer Stunde gehoben. Man findet die Wassermenge, welche nöthig ist, diese mechanische Wirkung durch Verdampfung hervorzubringen, wenn man sich erinnert, daß ein Kubikzoll Wasser durch Verdampfung eine mechanische Kraft erhält, welche 2016 Pfund, einen Fuß hoch gehoben, gleich ist. Dividiren wir daher 1,980,000 durch 2016, so finden wir die Zahl der Kubikzolle Wasser, die in einer Stunde verdunstet werden müssen, um die mechanische Wirkung zu erzeugen, die durch eine Pferdekraft ausgedrückt wird. Der Quotient ist 982, und dieß ist daher die Zahl der in einer Stunde zu verdunstenden Kubikzolle Wasser, die einer Pferdekraft gleich ist. Wir haben aber gezeigt, daß auf jede 6 Kubikzolle des

---

*) Ein Kolbenhub ist eine Bewegung des Kolbens von einem Ende des Cylinders und wieder zurück.

im Kessel verdunstenden Wassers, die als bewegende Kraft nutzbar sind, 4 Kubikzoll an die Maschine abgegeben werden. Wollen wir nun den Betrag der Kraftverschwendung finden, der auf 982 Kubikzoll Wasser kommt, so müssen wir diese Zahl durch 6 dividiren, und den Quotient mit 4 multipliciren. Wir erhalten als Ergebniß 652 Kubikzoll Wasser, das für die Maschine verbraucht wird. Die gesammte Wassermenge, die in einer Stunde verdunsten muß, um die Wirkung von einer Pferdekraft hervorzubringen, wird gefunden, wenn man 652 zu 982 addirt, was 1634 gibt.

Da dieses Ergebniß aber auf eine Voraussetzung sich stützt, welche den Maschinen einen höhern Grad von Wirksamkeit beilegt, als sie durchschnittlich haben, so nimmt man gewöhnlich einen Kubikfuß Wasser auf die Stunde für jede Pferdekraft, folglich, da ein Kubikfuß 1728 Kubikzoll hat, 11 Procent mehr als unsere Berechnung.

132.

Wir haben angegeben, daß, um einen Kubikfuß Wasser in einer Stunde zu verdunsten, 9 Quadratfuß Oberfläche der Wirkung des Feuers und der erhitzten Luft ausgesetzt sein müssen. Dieß ist die für jede Pferdekraft erfoderliche Oberfläche, und wir finden daher die gesammte für einen Kessel von gegebener Kraft nöthige Oberfläche, wenn wir die Zahl der Pferdekräfte mit 9 multipliciren. Das Ergebniß drückt aus, wie viel Quadratfuß der Oberfläche des Kessels der Wirkung des Feuers ausgesetzt werden müssen. Die eine Hälfte davon ist die Feuer-Oberfläche, die andere die Zug-Oberfläche. Da die dem Kessel mitgetheilte Wärme mit der Menge der verbrannten Kohlen im Verhältniß steht, und die Kohlenmenge vom Umfange der Oberfläche des Rostes abhängt, so ist es klar, daß ein bestimmtes Verhältniß zwischen der Kraft des Kessels und dem Umfange des Rostes statt finden muß. Die Menge des Sauerstoffes, der sich mit der Feuerung verbindet, ist verschieden nach der Beschaffenheit des Brennstoffes, und wechselt bei den verschiedenen Arten von Kohlen von 2 bis 3 Pfund für jedes Pfund Kohlen.

Wir wollen im Durchschnitt $2\frac{1}{2}$ Pfund annehmen. Wenn nun $2\frac{1}{2}$ Pfund Sauerstoff 30 Kubikfuß betragen, so enthalten 5 Kubikfuß atmosphärische Luft 1 Kubikfuß Sauerstoff, und es werden folglich 150 Kubikfuß atmosphärische Luft nöthig sein, um ein 1 Pfund Kohlen zu verbrennen. Wenigstens $\frac{1}{3}$ der Luft, die durch das Feuer geht, entweicht, ohne demselben Sauerstoff abzugeben, durch den Rauchfang, und wir müssen daher 220 Pfd. Luft auf jedes zu verbrennende Pfd. Kohlen durch die Roststäbe gehen lassen. Da nun Kessel in Land-Dampfmaschinen 15 Pfund, und Kessel in Schiff-Dampfmaschinen 10 Pfund Kohlen für jede Pferdekraft in einer Stunde verbrauchen, so folgt, daß die Räume zwischen den Roststäben und der Umfang der Oberfläche des Rostes hinlänglich sein müssen, um 3000 Kubikfuß Luft auf eine Stunde in Land-Dampfmaschinen, und 2000 Fuß in Schiff-Dampfmaschinen für jede Pferdekraft durch den Rost gehen zu lassen, oder was dasselbe ist, für jeden in einer Stunde in Dampf zu verwandelnden Kubikfuß Wasser. Der dazu erfoderliche Umfang der Oberfläche des Rostes scheint nicht genau bestimmt zu sein, aber vielleicht können wir in annähernder Schätzung für den Kessel in Land-Dampfmaschinen einen Quadratfuß Rost-Oberfläche auf eine Pferdekraft, und bei Schiff-Dampfmaschinen $\frac{2}{3}$ Quadratfuß annehmen, wenn die Räume zwischen den Roststäben von gleicher Weite sind.

Es ist klar, daß der Raum innerhalb eines Kessels für Wasser und Dampf in einem bestimmten Verhältnisse zu der Leistungsfähigkeit der Maschine stehen muß. Wir haben gezeigt, daß für jede Pferdekraft ein Kubikfuß Wasser in einer Stunde aus dem Kessel übergehen muß. Nun aber liegt es am Tage, daß der Dampf nicht von gleichförmiger Kraft sein könnte, wenn nicht die in jedem Augenblicke in dem Kessel enthaltene Dampfmenge bedeutend größer wäre, als der Inhalt des Cylinders. Wenn z. B. das Volumen Dampf im Kessel dem Rauminhalte des Cylinders völlig gleich wäre, so würde, wenn der Cylinder sich füllte, der Dampf in das Doppelte seines Rauminhaltes ausgedehnt werden und daher die Hälfte seiner Kraft verlieren, vorausgesetzt, daß er frei

aus dem Kessel in den Cylinder überginge. Wäre aber das Volumen Dampf im Kessel zweimal so groß als der Inhalt des Cylinders, so würde der Dampf für den Augenblick den dritten Theil seiner Kraft verlieren, und so weiter. Der dem Dampfe überlassene Raum muß daher um so vielmal größer als der Umfang des Cylinders sein, daß, wenn die zur Füllung des Cylinders nöthige Dampfmenge aus dem Kessel entweicht, die Kraft des Dampfes dadurch nur unbedeutend vermindert wird.

Eben so tritt die Nothwendigkeit hervor, daß zwischen der gesammten im Kessel befindlichen Wassermenge und dem an den Cylinder abgegebenen Dampfe ein beträchtliches Verhältniß statt finden muß. Wenn z. B. die im Kessel enthaltene Wassermenge nicht größer wäre, als die in einer Minute in den Cylinder strömende Dampfmenge, so würde es nöthig sein, daß der Inhalt des Kessels einmal in jeder Minute durch Zufluß von kaltem Wasser ersetzt würde, und es ist klar, daß unter solchen Umständen die Wirkung der Hitze auf das Wasser sich gar nicht regeln ließe. Doch abgesehen davon, muß die Wassermenge hinlänglich sein, den Kessel bis über den Punkt zu füllen, wo die Oberfläche der Feuerzüge endigt, weil sonst die Hitze des Feuers auf den Theil des Kessels wirken würde, der Dampf aber nicht Wasser enthielte, und der Kessel würde durch ungehörige Temperatur allmälig zerstört werden.

Der gesammte, für Wasser und Dampf erfoderliche Raum in dem Kessel ist nach Verhältniß der Wirkungskraft der Maschine bedeutenden Veränderungen unterworfen. In kleinen Kesseln ist ein größeres Verhältniß des Raumes für Dampf und Wasser nöthig, oder ein verhältnißmäßig größerer Inhalt als in großen, und dasselbe findet in Beziehung auf ihre Feuer- und Zug-Oberfläche statt.

Die Erfahrungen der Werkmeister haben zu dem Schlusse geführt, daß ein gewöhnlicher Kessel von niedrigem Drucke einen Raum für 10 Kubikfuß Wasser, und 10 Kubikfuß Dampf verlangt, für jeden Kubikfuß Dampf, den die Maschine in einer Stunde verbraucht, oder mit andern Worten für jede

Pferdekraft. So würde nach dieser Regel eine Maschine von 10 Pferdekräften einen Kessel haben müssen, welcher 200 Kubikfuß Inhalt hätte, der stets zur Hälfte mit Wasser gefüllt sein müßte. Es sind jedoch die Anschläge in dieser Beziehung verschieden. Einige Werkmeister glauben, daß ein Kessel für jede Pferdekraft 25 Kubikfuß Inhalt haben müsse, während andere nur 8 Kubikfuß für den Dampf verlangen. In einer Tabelle über den Rauminhalt der Kessel für Maschinen von verschiedener Leistungsfähigkeit und über den nöthigen Wasserzufluß bestimmt Tredgold für einen Kessel in einer Maschine von 5 Pferdekräften 14 Kubikfuß Wasser auf jede Pferdekraft, für 10 Pferdekräfte $12\frac{1}{2}$ Kubikfuß, für 40 Pferdekräfte 11 Kubikfuß.

Für Maschinen von größerer Leistungsfähigkeit ist es im allgemeinen vortheilhaft, zwei Kessel von geringerem Umfange, als einen großen zu haben. Dieß findet gewöhnlich auf Dampfschiffen statt, und hat den Vortheil, daß die fortdauernde Wirkung der Maschine gesichert ist, wenn je ein Kessel in seiner Thätigkeit gestört werden sollte. Auch ist es zweckmäßig, mehr Dampfkraft als die Maschine braucht, in dem Kessel zu haben. So gewährt es Vortheil, eine Maschine von 60 Pferdekräften mit zwei Kesseln, jeden für 40 Pferdekräfte, und eine Maschine von 80 Pferdekräften mit zwei Kesseln, jeden für 50 Pferdekräfte, zu versehen.

133.

Der Dampfdruck im Cylinder einer Maschine ist immer geringer als der Dampfdruck im Kessel, weil der Dampf im Durchgange durch die Röhren und Ventile Hemmungen erleidet. Der Unterschied zwischen diesen Graden des Druckes ist von der Form und Größe der Durchgänge abhängig; je gerader und weiter sie sind, desto geringer ist der Unterschied; sind sie aber enge und haben sie Biegungen, besonders Winkelbiegungen, so wird der Dampf bedeutend von seinem Drucke verlieren, ehe er in den Cylinder kommt. Das Regulator-Ventil in der Dampfröhre kann auch so gesteuert werden, daß sich der Druck des Dampfes im Cylinder beliebig vermindern

läßt. Man sieht, daß es durch solche Mittel möglich ist, dem Dampfe im Kessel jeden beliebigen Grad von hohem Drucke zu geben, während die Maschine bei jedem beliebigen Grade von niedrigem Drucke wirkt. Da aber der Dampfdruck im Cylinder ein wesentliches Element bei der Leistung der Maschine ist, so sind Größe, Stellung und Gestalt der Dampfröhre und der Ventile von einer großen praktischen Wichtigkeit. Die Theorie gibt uns jedoch nicht viel mehr, als allgemeine Grundsätze, die uns leiten können. Eine praktische Regel, die man angenommen hat, besteht darin, dem Durchmesser der Dampfröhre nur $\frac{1}{5}$ des Cylinder-Durchmessers zu geben. Da dieselbe Dampfmenge in einer Minute durch diese Röhren strömen muß, wie durch den Cylinder, so muß die Geschwindigkeit des Dampfes in dem Durchgange durch die Dampfröhre fünf und zwanzig mal so groß als die Geschwindigkeit des Kolbens sein.

134.

Eine andere angenommene Regel ist, dem Querschnitt der Dampfröhre einen Quadratzoll Größe für jede Pferdekraft zu geben.

Das Ergebniß dieser und aller ähnlichen Regeln ist, daß der Dampf nimmer mit derselben Geschwindigkeit durch die Dampfröhre gehen muß, was auch die Leistungsfähigkeit der Maschine sei.

In Maschinen von gleicher Leistungsfähigkeit wird die Geschwindigkeit des Kolbens im Cylinder sehr verschieden sein, je nach dem wirklichen Drucke des Dampfes und nach den Verhältnissen und dem Umfange des Cylinders. Nach den bereits gegebenen Erläuterungen ist es klar, daß, wenn die Leistungskraft dieselbe ist, dieselbe wirksame Dampfmenge in jeder Minute durch den Cylinder gehen muß; wird aber der Dampf mit bedeutendem Druck im condensirten Zustande gebraucht, so wird dasselbe Gewicht des Dampfes einen geringern Raum einnehmen, und folglich sind die Cylinder in Hochdruckmaschinen kleiner, als diejenigen von gleicher Kraft in Maschinen, die mit niedrigem Drucke arbeiten. Die Größe

des Cylinders und des Kolbens, wie die Geschwindigkeit des letztern, sind daher zuerst von dem Dampfdrucke abhängig. Aber bei einem Dampfe von bestimmtem Drucke wird die Geschwindigkeit des Kolbens verschieden sein, und bei einem gegebenen Rauminhalt des Cylinders und einem gegebenen Dampfdrucke bestimmt die Leistungsfähigkeit der Maschine die Zahl der Kolbenhübe in jeder Minute. Die wirkliche Geschwindigkeit des Kolbens ist jedoch in diesem Falle von dem Verhältnisse abhängig, in welchem der Durchmesser des Cylinders zu dessen Länge steht. Je größer der Durchmesser des Kolbens gegen die Länge desselben ist, desto geringer wird seine Geschwindigkeit sein.

Bei stehenden Dampfmaschinen, wie man sie zu Lande gebraucht, wird dasjenige Verhältniß des Durchmessers des Cylinders zu seiner Länge angenommen, das der wirksamsten Leistung der Maschine am günstigsten ist. Nach einigen Werkmeistern soll der Cylinder zweimal so lang, als sein Durchmesser sein*), andere verlangen eine Länge von dritthalb Durchmessern; es gibt jedoch Umstände, in welchen die Rücksicht auf praktische Vortheile es nothwendig macht, andere Verhältnisse anzunehmen. In Schiff-Dampfmaschinen, wo sehr lange Cylinder unzulässig sein würden und auf der andern Seite eine beträchtliche Kraft verlangt wird, werden kurze Cylinder von großem Durchmesser gebraucht. In diesen Maschinen ist die Länge des Kolbenhubes oft nicht größer, als der Durchmesser des Kolbens, und zuweilen noch geringer.

In Maschinen mit niedrigem Drucke hat diejenige Geschwindigkeit des Kolbens die beste praktische Wirkung, die gegen 200 Fuß in einer Minute beträgt. Dieß erleidet jedoch einige Veränderungen.

135.

Ein gegebenes Gewicht von Feuerungsmitteln, die un-

*) Dieß ist das Verhältniß, bei welchem der Cylinder von einem gegebenen Inhalte die möglich geringste Oberfläche der abkühlenden Wirkung der Atmosphäre aussetzt.

ter dem Kessel verbrannt werden, kann mittels der Maschine eine mechanische Wirkung hervorbringen, welche, wenn sie in einer gleich geltenden Zahl von Pfunden, einen Fuß gehoben, ausgedrückt wird, die Leistung der Maschine heißt. Könnte alle durch Verbrennung der Kohlen entwickelte Hitze dem Wasser im Kessel mitgetheilt und zur Erzeugung von Dampf benutzt werden, und könnte überdieß der ganze auf diese Weise erzeugte Dampf für die eigentliche Wirkung mechanisch nutzbar gemacht werden, so würde die Leistung der Maschine die völlige unverminderte Wirkung der durch die Verbrennung erzeugten Hitze sein; aber es liegt am Tage, daß dieß in der Praxis nie der Fall sein kann. Fürs erste kann die durch die Verbrennung der Kohlen erlangte Hitze nie ganz dem Wasser in dem Kessel mitgetheilt werden; ein Theil derselben entweicht, ohne in den Kessel zu kommen, ein anderer wird verbraucht, das Metall des Kessels zu erhitzen und den durch die Wärmestrahlung seiner Oberfläche herbeigeführten Verlust zu ersetzen, wieder ein anderer geht durch die verschiedenen Ursachen der Dampfverschwendung und durch Lecke verloren, ein anderer wird durch die Gegenwirkung des condensirten Dampfes entzogen, und endlich ein anderer Theil verbraucht, um die Reibung und den Widerstand der Maschine selbst zu überwinden. Man sieht ein, daß all diese Ursachen der Dampfverschwendung sich nach den Umständen und nach den Verhältnissen der Maschine, wie nach der Gestalt und Einrichtung des Herdes, der Züge, des Kessels ändern müssen. Die Leistung der verschiedenen Maschinen wird daher verschieden sein, und wenn man solche Maschinen vergleicht, um den Aufwand an Feuerungsmitteln zu bestimmen, so ist es nothwendig, die verbrauchte Feuerung mit dem überwundenen Widerstande sorgfältig zu vergleichen. In Maschinen, die in Fabriken oder auf Dampfschiffen gebraucht werden, ist es nicht leicht, den Betrag des Widerstandes, den die Maschine überwinden muß, zu ermessen; wenn sie aber zum Auspumpen von Wasser gebraucht werden, läßt sich ihre Leistung leichter bestimmen.

Im Jahre 1811 glaubten mehre Eigenthümer von

Kohlengruben in Cornwall, daß ihre Maschinen nicht die mit den verbrauchten Feuerungsmitteln in gehörigem Verhältnisse stehende Leistung hätten, und beschlossen, die Leistung auf eine gleichförmige Weise zu prüfen. Zu diesem Zwecke ward ein sogenannter Hubzähler*) an jeder Maschine angebracht, welcher die Zahl der Kolbenhübe angab. Alle Maschinen wurden unter die Aufsicht zweier Werkmeister gestellt, und diese, wie die Eigenthümer, verpflichteten sich, die Erreichung des Zweckes auf alle Weise zu erleichtern. Die beiden Werkmeister mußten monatlich einen Bericht von der Leistung jeder Maschine bekannt machen, worin der Name der Kohlengrube, die Größe des Cylinders, die auf der Maschine liegende Last, die Länge des Kolbenhubes, die Zahl der Pumpenhebungen und deren Tiefe, der Durchmesser der Pumpen, die Arbeitzeit, der Kohlenverbrauch, die von der Pumpe zu hebende Last und endlich die Leistungsfähigkeit der Maschine oder die Zahl der durch Verbrennung eines Bushels**) Kohlen einen Fuß hoch gehobenen Pfunde angegeben wurden. Die Bekanntmachung dieser Berichte begann im August 1811 und ist seitdem bis auf diesen Augenblick regelmäßig fortgesetzt worden.

Die günstige Wirkung, welche diese Berichte auf die Wachsamkeit der Werkmeister gehabt haben, und der dadurch erregte Wetteifer unter den Verfertigern der Maschinen und den Maschinenwärtern zeigt sich in der Verbesserung, welche allmälig in der Leistung der Maschinen bis auf unsere Zeit hervorgetreten ist. Nach einem im December 1826 bekannt gemachten Berichte hatte eine Maschine in der Kohlengrube Wheal-Hope in Cornwall die höchste Leistung, indem sie

---

*) Mit dem Balancier ist eine Art von Uhrwerk verbunden, das nach der Einrichtung des Schrittzählers bei jedem Aufsteigen und jedem Niedergange des einen Armes das Steigrad nm einen Zahn fortrückt. Die Zeiger geben die Zahl der Kolbenhübe für eine bestimmte Zeit an, da das Zifferblatt mehre Zeiger hat, von welchen der eine seinen Umlauf bei 100, der andere bei 1000 Hüben macht. Der Zähler kann auch mit einem Pendel versehen werden.

**) Ein Bushel = 84 Pfund englisch = 64 Wiener Pfund.

auf einen Buſhel Kohlen 46,838,246, oder in runder Summe 47 Millionen Pfund, 1 Fuß hoch hob.

Ein im Jahre 1835 bekannt gemachter Bericht meldet, eine Dampfmaſchine in dem Kupferbergwerke bei St. Auſtell in Cornwall habe im Durchſchnitte 95 Millionen Pfund 1 Fuß hoch bei der Verbrennung von einem Buſhel Kohlen gehoben. Dieſe ungeheure mechaniſche Wirkung erregte einige Zweifel gegen die Genauigkeit der Beobachtungen, auf welche der Bericht ſich ſtützte, und es wurde beſchloſſen, einen neuen Verſuch in Gegenwart ſachkundiger und unbetheiligter Zeugen anzuſtellen. Das von erfahrnen Werkmeiſtern beglaubigte Ergebniß war, daß die Maſchine auf jeden Buſhel verbrauchter Kohlen 125½ Millionen Pfund einen Fuß hoch heben konnte.

136.

Es wird nicht unintereſſant ſein, den Betrag der Kraft, welche ſich in der Steinkohle befindet, auf eine faßliche Weiſe durch Vergleichungen zu erläutern.

Kann ein Buſhel Kohlen 56,027 Tonnen einen Fuß hoch heben, ſo folgt, daß 1 Pfund Kohlen 667 Tonnen auf gleiche Höhe, und eine Unze Kohlen 42 Tonnen einen Fuß hoch oder 18 Pfund eine engliſche Meile hoch heben würde. Da nun eine Kraft von 18 Pfund fähig iſt, 2 Tonnen auf einer Eiſenbahn zu ziehen, ſo ergibt ſich, daß eine Unze Kohlen eine mechaniſche Kraft hat, die hinlänglich iſt, 2 Tonnen eine Meile weit, oder eine Tonne 2 Meilen weit auf einer ebenen Eiſenbahn zu ziehen*).

Der Umfang der Erde beträgt 25000 engliſche oder 5400 geographiſche Meilen. Wäre ſie von einer Eiſenbahn umgürtet, ſo würde eine Laſt von einer Tonne in ſechs Wochen durch die mechaniſche Kraft, welche ⅐ Tonne Steinkohlen beſitzt, rings um dieſelbe gezogen werden.

*) Der wirkliche Kohlenverbrauch auf Eiſenbahnen iſt ungefähr 8 Unzen für die Tonne auf eine engliſche Meile. Es wird daher mit einer ſechzehnmal geringeren Wirkung als in der oben erwähnten Maſchine gearbeitet.

Die große Pyramide bei Dschiseh in Aegypten steht auf einer Grundlage, die auf jeder Seite gegen 700 Fuß mißt, und ist 500 Fuß hoch. Ihr Gewicht ist 12,760,000,000 Pfund. Mit der Erbauung derselben waren 100,000 Menschen 20 Jahre lang beschäftigt, wie Herodot angibt. Ihre Bestandtheile würden durch Verbrennung von 479 Tonnen Kohlen von dem Boden in ihre jetzige Stellung gehoben werden.

Das Gewicht der Kettenbrücke über der Meerenge Menai, welche die Insel Anglesea von Wales trennt, beträgt 4,000,000 Pfund, und ihre Höhe über der Oberfläche des Wassers ist 120 Fuß. Diese ganze Masse könnte von der Oberfläche des Wassers in ihre jetzige Lage durch Verbrennung von 336 Pfund Kohlen gehoben werden.

Der ungeheure Kohlenverbrauch in Fabriken und bei der Dampfschifffahrt hat in der neuesten Zeit die Besorgniß erregt, daß die Gruben endlich erschöpft werden könnten. Diese Furcht aber ist in England durch die Behauptung sachkundiger Männer beschwichtigt worden, daß, wenn man den jährlichen Kohlenverbrauch zu 16 Millionen Tonnen rechnet, nur die Kohlenlager in Northumberland und Durham allein hinlänglich sind, noch für 1700 Jahre den Bedarf zu liefern, und daß nach Verlauf dieser Zeit das große Kohlenflötz im südlichen Wales denselben Bedarf noch 2000 Jahre länger geben würde.

Aber bei Berechnungen dieser Art darf man die wahrscheinlichen, ja gewissen Fortschritte der Verbesserungen und Entdeckungen nicht übersehen, und wir dürfen mit Zuversicht aussprechen, daß lange vorher, ehe ein kleiner Theil jenes Zeitraumes verflossen sein wird, andere und mächtigere mechanische Kräfte den Gebrauch der Steinkohlen verdrängt haben werden. Die Naturwissenschaft deutet schon auf Quellen unerschöpflicher Kraft in den Erscheinungen der Electricität und des Magnetismus. Die abwechselnde Zersetzung und Wiederzusammensetzung des Wassers durch Magnetismus und Electricität hat eine zu große Aehnlichkeit mit der abwechselnden Verdampfung und Condensation, als daß sie nicht auffallen sollte. Die Entwickelung von Gasen aus festen Kör-

pern durch chemische Verwandtschaften und ihre nachherige Condensation in flüssige Gestalt hat man bereits als ein Kraftmittel anzuwenden versucht. Mit einem Worte, der jetzige Zustand der Naturwissenschaften, die Kraft, die Thätigkeit und der Scharfsinn, womit unter allen gebildeten Völkern wissenschaftliche Untersuchungen betrieben werden, die hohe Achtung, welche die Pfleger der Wissenschaft genießen, alles berechtigt zu der Erwartung, daß wir mechanischen Entdeckungen nahe sind, die noch größer sein werden, als alles, was wir gesehen haben, daß selbst die Dampfmaschine mit den Riesenkräften, die der unsterbliche Watt ihr gab, unbedeutend erscheinen wird gegen die verborgenen Naturkräfte, die noch enthüllt werden sollen, und daß eine Zeit kommen wird, wo diese Maschine, die jetzt ihre Wohlthaten bis an die Gränzen der gesitteten Welt verbreitet, nur noch in der Geschichte lebt.

Dreizehnter Abschnitt.

Regeln für Eisenbahn-Anlagen.

137.

Nicht lange nach der Vollendung der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester entstanden Zweifel über den endlichen Erfolg derselben als einer auf den Handelsverkehr berechneten Unternehmung, und noch jetzt, nachdem die Bahn bereits einige Jahre befahren ist, haben bedenkliche Menschen noch kein festes Vertrauen auf die Dauer der Vortheile, welche sie gewährt. Es wurde selbst von vielen wissenschaftlich gebildeten Männern lange bezweifelt, ob es möglich sein würde, mit der zu Anfange des Unternehmens bewirkten unerhörten Geschwindigkeit eine regelmäßige Fortschaffung von Gütern und Personen zu unterhalten, und nachdem diese Möglichkeit einige Jahre lang durch regelmäßige Benutzung der Bahn war bewiesen worden, bezweifelten manche noch immer, ob es ausführbar sein werde, bei jener Geschwindigkeit die Unternehmung dauernd nützlich zu machen, was andere geradezu läugneten. Die Vorsteher der Aktiengesellschaft haben die zahlreichen Schwierigkeiten, die besiegt werden mußten, und den ungeheuren Aufwand für die Dampfwagen in ihren halbjährigen Berichten offen eingestanden. Manche, die bei Kanälen und andern Mitbewerbungen der Eisenbahnen betheiligt waren, schrieben die Dividenden gewissen Vorkehrungen der Vorsteher zu, und behaupteten, daß sie, wenn sie den Gewinn zu theilen schienen, in der That ihr Kapital theilten.

Diese Täuschung konnte indeß nicht lange fortdauern. Die ununterbrochene Bezahlung einer halbjährigen Dividende von $4\frac{1}{2}$ Prozent seit der Eröffnung der Bahn, und der bereits vorhandene Anfang eines Reservefonds von ansehnlichem Betrage, wie das Steigen der Aktien über 100 Prozent, haben selbst diejenigen, die für Gründe unempfänglich sind, zur Ueberzeugung gebracht, und die öffentliche Meinung, die anfänglich gegen die Eisenbahnen war, hat sich jetzt so leidenschaftlich für dieselben erklärt, daß diejenigen, zu deren Beruf solche Untersuchungen gehören, verpflichtet sind, den Eifer des Publikums eher in gehörigen Gränzen zu halten, als ihn noch mehr anzuregen.

Die Entwürfe zu großen Eisenbahnen für die Beförderung des inneren Verkehrs, welche bereits angekündigt sind, würden bedeutende Geldmittel verlangen, wenn sie ausgeführt werden sollten. Bedenken wir, daß der Voranschlag immer geringer ist, als das wirklich erfoderliche Anlage-Kapital, so werden wir vielleicht keine übertriebene Schätzung machen, wenn wir die nöthige Summe zu 50 Millionen Pfund Sterling rechnen. Die Größe dieses Betrags hat bei manchen die Besorgniß erregt, daß die Verwendung eines so ansehnlichen Kapitals auf diese Unternehmungen dem Interesse des Handels nachtheilig werden könnte. Man sollte jedoch erwägen, daß, selbst wenn alle entworfenen Plane endlich ausgeführt würden, doch bis zur Vollendung dieser Werke vielleicht eine Zeit von wenigstens funfzehn bis zwanzig Jahren verfließen möchte, und das erfoderliche Kapital nicht auf einmal, sondern nach und nach in einzelnen kleinen Zahlungen verlangt wird. Selbst wenn es wahr wäre, daß die zur Ausführung jener Entwürfe nöthigen Geldmittel anderen gewerblichen Zwecken entzogen würden, so würde doch die veränderte Verwendung so langsam geschehen, daß sie keine wirklichen Nachtheile herbeiführen könnte. Es ist aber gar nicht wahrscheinlich, daß irgend eine solche Ableitung von Geldmitteln nöthig sein werde. Handel und Fabriken sind in den britischen Inseln in einem ungemein blühenden Zustande, und die jährliche Anhäufung des Kapitals ist so bedeutend, daß die Schwierigkeit

wahrscheinlich nicht darin liegen möchte, Geldmittel für nutzbare Anlagen, sondern darin, nutzbare Anlagen für das zunehmende Kapital zu finden. In Manchester allein soll die jährliche Zunahme des Kapitals nicht weniger als 3 Millionen Pfund Sterling betragen. In funfzehn Jahren wird daher auf diesem Handelsplatze allein der gesammte Geldbedarf für die Vollendung aller entworfenen Eisenbahnen zu finden sein, ohne anderen gewerblichen Unternehmungen Kapital zu entziehen.

Die bequeme Gelegenheit, welche die Aktienvereine zur Anlegung selbst eines sehr kleinen Kapitals darbieten, die Lockung, die in der Aussicht auf einen bedeutenden Gewinn liegt, und die geringen Zinsen, welche die Staatsschuldscheine geben, haben sehr viele große und kleine Kapitalisten gereizt, Aktien zu kaufen, mit der Absicht, sie zu behalten. Dagegen gibt es aber auch sehr viele Spekulanten, welche auf eine große Anzahl von Aktien unterzeichnet haben, ohne die mindeste Absicht, ja ohne auch nur im Stande zu sein, den Betrag derselben zu bezahlen. Der Verlust, den Leute dieser Art erleiden können, möchte wenig Mitleid erwecken, wenn nicht die nachtheiligen Folgen zu bedenken wären, welche für die ernstlichen Käufer entstehen müßten, wenn eine ungünstige Wendung einträte und der Markt mit den Aktien jener waghalsigen Spekulanten überschwemmt würde, die nur kaufen, um wieder zu verkaufen. Es wird daher für diejenigen, die wirklich die Absicht haben, ihr Geld in Unternehmungen dieser Art anzulegen, nicht ohne Nutzen sein, wenn wir bestimmt und faßlich die Hauptumstände darlegen, von welchen die nutzbare Wirksamkeit der Eisenbahnen abhängig ist, um sie in Stand zu setzen, einigermaßen eine begründete Vermuthung über die Vortheile, welche die verschiedenen Plane versprechen, sich zu bilden. Wir wollen unsere Angaben nur auf einfache Thatsachen und Ergebnisse stützen, die weder abgeläugnet, noch bestritten werden können, und es meist andern überlassen, die Folgerungen daraus zu ziehen, wozu sie führen.

Diejenigen, die sich in Eisenbahn-Unternehmungen einlassen wollen, müssen erstens eine Uebersicht der Steigungen sich verschaffen, oder eine genaue Angabe von allen An-

höhen der Bahnlinie von einem Endpunkte bis zum andern, wobei bestimmt ist, um wie viel eine geneigte Ebene auf einer bestimmten Strecke z. B. von 300 Fuß steigt oder fällt, und wie lang sie ist. Auch würde es zweitens nützlich sein, die Länge der Halbmesser der verschiedenen Krümmungen der Bahn, wie auch die Länge der Krümmungen selbst, zu kennen. Es ist drittens eine Uebersicht des Verkehrs nöthig, der in einer gegebenen Zeit auf der Heerstraße zwischen den durch eine Eisenbahn zu verbindenden Endpunkten stattgefunden hat, wobei die Zahl der die Straße befahrenden Postkutschen und die durchschnittliche Zahl der Personen, welche sie fortschaffen, angegeben werden muß. Auch ist eine Angabe des Betrags der fortgeschafften Waaren nöthig, wiewohl dieser Punkt von geringerer Wichtigkeit ist. Endlich muß man viertens auf die Wasserverbindung zwischen den Endpunkten der künftigen Bahn ein Augenmerk richten und den Betrag der auf solchen Wegen fortgeschafften Ladungen beachten.

Hat man sich über diese Punkte unterrichtet, so möchten die Grundsätze, die wir aufstellen wollen, nützlich gefunden werden.

I.

Keine Eisenbahn kann Vortheil bringen, wenn sie nicht einen ansehnlichen Personenverkehr hat. Güter, Waaren, Ackerbau-Erzeugnisse und andere Ladungen müssen nur als Gegenstände von untergeordneter Wichtigkeit betrachtet werden.

II.

Eine wahrscheinliche Schätzung des Personenverkehrs, der sich auf einer Eisenbahn erwarten läßt, erhält man, wenn man die Durchschnittzahl der Reisenden in den letzten drei Jahren auf der Heerstraße in doppeltem Verhältnisse annimmt.

Die tägliche Durchschnittzahl der Reisenden zwischen Liverpool und Manchester, vor der Anlegung der Eisenbahn,

war gegen 450, jetzt aber ist die Durchschnittzahl über 1300. Auf der kurzen, im Jahre 1834 eröffneten Eisenbahn zwischen Dublin und Kingstown, die nicht viel über eine deutsche Meile lang ist, hat die Zahl der Reisenden ungefähr in gleichem Verhältnisse zugenommen.

III.

Personen werden in England mit Vortheil auf Kanälen fortgeschafft, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die nicht zwei deutsche Meilen in einer Stunde übersteigt, mit Ausschluß der Zögerungen bei Schleusen, gegen einen Fahrpreis von einem Penny (8 Pfennigen) für jeden Reisenden auf eine englische Meile. Auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester rechnet man im Durchschnitt auf den Kopf für jede Meile ungefähr 1⅘ Penny, bei einer Geschwindigkeit von 20 englischen oder ungefähr 4½ deutschen Meilen in einer Stunde.

Reisende mit einer Geschwindigkeit von 10 englischen Meilen in einer Stunde auf einer Eisenbahn fortzuschaffen, würde nicht viel weniger kosten, als die größere Geschwindigkeit von 20 Meilen in einer Stunde, so daß eine Eisenbahn nicht gleiche Bedingungen mit einem Kanal gewähren könnte, wenn die Geschwindigkeit gleich wäre.

IV.

Bei einem Fahrpreise von 1⅘ Penny auf den Kopf für die Meile ist der Gewinn auf der Manchester-Bahn 100 Prozent.

V.

Güter können auf Kanälen vortheilhaft gegen geringere Fracht fortgeschafft werden, als auf Eisenbahnen, doch ist die Geschwindigkeit

für Güter auf Kanälen nur $\frac{1}{5}$ der Geschwindigkeit auf der Eisenbahn.

VI.

Auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester beträgt die Fracht für Güter 3 Pence und 3 Farthings (gegen 2 Groschen 3 Pfennige) für die Tonne auf die Meile, mit einem Gewinn von etwa 40 Prozent, da zwischen beiden Endpunkten auch eine Kanalverbindung besteht.

VII.

Eine lange Eisenbahn kann mit verhältnißmäßig geringerem Aufwande befahren werden, als eine kurze.

VIII.

Dampfmaschinen arbeiten mit der größten Wirksamkeit und dem geringsten Aufwande, wenn der Widerstand, den sie zu überwinden haben, vollkommen gleichförmig und unveränderlich ist.

IX.

Die Veränderung des Widerstandes auf Eisenbahnen ist erstens von Steigungen, zweitens von Krümmungen abhängig.

Unter Krümmungen versteht man überhaupt Abweichungen von der Richtung der Bahn zur Rechten oder zur Linken. Die Richtung einer Eisenbahn kann sich nicht plötzlich in einem Winkel verändern, sondern muß allmälig in einer Krümmung (Curve) bewirkt werden. Ist die Curve, wie gewöhnlich, der Bogen eines Kreises, so ist der Halbmesser der Curve die Entfernung des Mittelpunktes des Kreises von der Curve. Dieser Halbmesser ist ein wichtiges Element in der Schätzung einer Bahn.

X.

Je mehr eine Eisenbahn sich einer vollkommnen Ebene nähert und je gerader sie ist, desto vortheilhafter läßt sie sich benutzen.

XI.

Der Gesammtbetrag mechanischer Kraft, der erfoderlich ist, eine gegebene Last von einem Endpunkte der Eisenbahn bis zum andern zu schaffen, ist leicht und genau zu berechnen, wenn die Steigungen und Krümmungen bekannt sind, und die Vorzüge verschiedener Bahnlinien lassen sich dann in dieser Beziehung mit einander vergleichen; es ist jedoch nicht die einzige Probe, die hier in Anwendung kommen muß.

XII.

Eine Eisenbahn, deren Steigungen über 17 Fuß in einer englischen Meile oder über 1 Fuß in 300 betragen, verlangt mehr mechanische Kraft, sie zu befahren, als wenn sie vollkommen eben wäre, und je mehr solcher hohen Steigungen auf einer Bahn vorkommen und je steiler sie sind, desto größer ist dieser Nachtheil.

XIII.

Verlangt auch eine Eisenbahn, die keine Steigungen von mehr als 1 Fuß in 300 hat, nicht mehr mechanische Kraft, als eine Ebene, so wird doch die mechanische Kraft, die sie fodert, nicht so vortheilhaft verwendet werden und daher nicht so wohlfeil sein.

XIV.

Eine Eisenbahn, die Steigungen von mehr als 1 Fuß in 170 (oder 30 Fuß in einer englischen Meile)

hat, verlangt für solche Steigungen Hilfs-Dampfwagen, die mit einer Kraftverschwendung und nach Verhältniß der Anzahl und Länge solcher Steigungen mit einer größeren oder geringeren Vermehrung des Aufwandes verbunden sind.

XV.

Auf einer sehr langen geneigten Ebene kann nicht ohne großen Aufwand ein Hilfs-Dampfwagen angewendet werden, und daher müssen Steigungen über 1 Fuß in 300 nur kurz sein.

XVI.

Steigungen über 1 Fuß in 100 können nur mit Hilfe von stehenden Dampfmaschinen und Zugseilen vortheilhaft benutzt werden, aber dieses Hilfsmittel ist mit so vielen Nachtheilen verbunden, daß es bei starkem Personenverkehr kaum anwendbar ist.

XVII.

Steile Steigungen, wenn sie von den Endpunkten einer Bahnlinie abfallen, sind zulässig, vorausgesetzt, daß sie kurz sind.

XVIII.

Die Wirkung der Steigungen auf die Vermehrung des Widerstandes bei dem Hinanfahren läßt sich ermessen, wenn man erwägt, daß bei einer Steigung von 1 Fuß in 300 der Widerstand doppelt so groß ist als auf der Ebene, bei 1 Fuß in 170 dreimal so groß, und bei einer Steigung von 1 Fuß in 600 um die Hälfte größer.

XIX.

Bei der auf Eisenbahnen jetzt erreichbaren Geschwindigkeit sollte man Krümmungen vermeiden, deren Halbmesser kürzer als 5000 Fuß ist. Es lassen sich Mittel zur Verminderung des Widerstandes finden, aber durch die Nachlässigkeit der Wagenlenker können sie doch immer gefährlich werden. In der Nähe der Endpunkte einer Bahn ist gegen Krümmungen nichts einzuwenden.

XX.

Am nachtheiligsten ist eine Krümmung am Fuße einer geneigten Ebene, wegen der Geschwindigkeit, welche der Wagenzug bei dem Hinabfahren erlangt, und weil es zuweilen unmöglich ist, ihn zu hemmen.

XXI.

In dem Verhältnisse als die Geschwindigkeit der Dampfwagen durch die Verbesserungen, welche sie wahrscheinlich erhalten werden, sich vermehren wird, werden die mit Krümmungen verbundenen Nachtheile und Gefahren zunehmen.

XXII.

Die Schwierigkeit, die mit einem langen Tunnel verbunden ist, entsteht daraus, daß durch die Verbrennung der Kohlen die reine Lebensluft verderbt wird. Ein Tunnel auf einer ebenen Bahn sollte daher 25 bis 30 Fuß hoch sein und durch Schachte oder andere Vorkehrungen gelüftet werden.

XXIII.

Der Uebergang aus dem Lichte in die Dun-

kelheit, der unangenehme Einfluß der Feuchtigkeit und im Sommer der Wechsel einer warmen Luft mit einer kalten, werden immer Einwendungen gegen einen langen Tunnel auf einer für einen bedeutenden Personenverkehr bestimmten Bahn sein.

XXIV.

Alle Eiwendungen gegen einen Tunnel werden verstärkt, wenn er auf einer Anhöhe ist. Die Lebensluft wird bei dem Hinanfahren in demselben Verhältnisse mehr verderbt werden, als die bewegende Kraft verstärkt wird. Hat die Anhöhe eine Steigung von 1 Fuß in 300, so wird die Luft zweimal so verdorben sein, als auf einer Ebene, bei einer Steigung von 1 Fuß in 150 dreimal, bei 1 in 100 viermal so verdorben.

XXV.

Verlangt eine gebieterische Nothwendigkeit, auf einer Anhöhe einen Tunnel anzulegen, so muß er größer sein und mehr Vorkehrungen zur Lüftung haben, als auf einer Ebene, in demselben Verhältnisse als der auf einer Anhöhe hervorgebrachte Widerstand größer ist, als der Widerstand auf einer Ebene.

XXVI.

Ein Tunnel sollte in Zwischenräumen, die nicht größer als 600 Fuß sind, durch Schachte Lüftung erhalten.

XXVII.

Während ein Wagenzug durch einen Tunnel fährt, können Schachte keine wirksame Lüftung geben. Die Maschine läßt die unreine Luft, die sie erzeugt, hinter sich, und die Reisenden

werden von derselben umgeben, ehe sie durch die Schachte entweichen kann. Man kann jedoch den Tunnel so groß machen, daß alle daraus entstehenden nachtheiligen Folgen verhütet werden.

XXVIII.

Ein Tunnel auf einer Ebene, der nicht über 1700 Fuß lang ist, möchte ohne Nachtheile sein, aber ein Tunnel von gleicher Länge auf einer Anhöhe würde größere Nachtheile haben.

Es ist im allgemeinen zu bemerken, daß wir noch nicht viele, ja fast gar keine Erfahrungen über die Wirkung eines Tunnels auf Eisenbahnen haben, wo ein bedeutender Personenverkehr stattfindet. Die Eisenbahn zwischen Leicester und Swannington, die meist nur zu Kohlenfuhren aus den nahen Gruben und von den Bewohnern der umliegenden Dörfer benutzt wird, hat einen Tunnel, der auf einer beinahe vollkommnen Ebene gegen 5000 Fuß lang ist und durch 8 Schachte gelüftet wird. Ich habe ihn oft auf einem Dampfwagen befahren, und selbst in einem verschlossenen Wagen war die Beschwerde so groß, daß sie auf einer Bahn, wo ein starker Personenverkehr wäre, ganz unerträglich sein würde. Auf dieser Bahn werden Kohlen, nicht Cokes gebraucht, und es wird daher ein Rauch erzeugt, der weit unangenehmer ist als die durch Verbrennung von Cokes erzeugten Gase. Die Eisenbahn zwischen Leeds und Selby hat einen Tunnel auf einer beinahe ganz ebenen Linie, der gegen 2100 Fuß lang, 22 Fuß breit, 17 Fuß hoch ist und durch drei Schachte gelüftet wird, die 10 Fuß im Durchmesser haben und 60 Fuß hoch sind. Die Bahn wird täglich von 400 Reisenden befahren, die bei der Fahrt durch den Tunnel nicht über Beschwerden klagen. Man brennt Cokes auf dieser Bahn.

Anhang.

Das vor Kurzem erschienene Werk „A practical treatise on locomotive engines upon railways etc.“ von dem ehemaligen französischen Artillerie-Offizier Ritter von Pambour (London 1836), das zuerst 1835 in französischer Sprache herausgegeben wurde, gibt die schätzbaren Ergebnisse der Versuche, welche der Verfasser während seines Aufenthalts in England, besonders auf der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester angestellt hat, und ist reich an neuen, manche früheren Ansichten berichtigenden Angaben, die vorzüglich für Praktiker wichtig sein werden. Wir entlehnen daraus mehre Bemerkungen, welche einige Stellen der vorliegenden Schrift erläutern können, oder über einige darin berührte Fragen eine andere Ansicht geben.

A.

Der Ritter von Pambour nimmt die Ehre der wichtigen Erfindung, die von dem Herde entweichende heiße Luft mittels Röhren durch das Wasser des Kessels in den Rauchfang zu leiten, welche Lardner Seite 159 seinem Landsmann Booth zuschreibt, für den Fabrikanten Seguin zu Annonay in Anspruch. Seguin erhielt, sagt er, sein Patent bereits im Februar 1828, und erst im April 1829 lenkte der Ausschuß des Aktien-Vereins der Liverpool-Bahn durch die Aussetzung eines Preises die Aufmerksamkeit der englischen Mechaniker auf die Verbesserung der Dampfwagen. Erst im October desselben Jahres wurde der von Stephenson gebaute Dampfwagen Rocket

mit der von Booth angegebenen Verbesserung vollendet, die weder im Prinzip noch in der Form von Seguin's Erfindung verschieden ist, wie der Ritter behauptet.

B.

Die Dampfwagen auf der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester (s. Seite 135 ff.), deren es über 30 gibt, zerfallen nach den Dimensionen ihrer Theile, von welchen ihre Wirkungskraft hauptsächlich abhängt, in fünf Klassen, und noch jetzt sind deren vier im Gebrauche.

Klasse	Durchmesser des Cylinders	Kolbenhub	Durchmesser der Räder		Gewicht	Druck auf den Quadratzoll im Kessel
	Zoll	Zoll	Fuß	Zoll	Tonne	Pfunde
1	14	16	4	6	12	50
2	12	16	5		12	50
3	11	16	5		8—9	50
4	11	18	5		8—9	50

In die fünfte Klasse gehören die bei der Eröffnung der Bahn gebrauchten Dampfwagen. Ihre Cylinder haben 10 Zoll und noch weniger im Durchmesser, und Kolbenhub, Durchmesser der Räder und Gewicht der Maschine sind nach Verhältniß verschieden. Sie werden jetzt fast gar nicht mehr gebraucht.

Von den 32 für die Gesellschaft gebauten Dampfwagen, von welchen sie noch 30 besitzt, haben 2 einen Cylinder von 14 Zoll im Durchmesser, 4 von 12 Zoll, 16 von 11 Zoll mit 16 Zoll Kolbenhub und 2 von 11 Zoll mit 18 Zoll Kolbenhub. Die übrigen acht sind von geringern Verhältnissen und gehören in die fünfte Klasse. Alle haben einen wirklichen Druck von 50 Pfund auf den Quadratzoll im Kessel.

Nach jenen Dimensionen wird gewöhnlich die Wirkungskraft der Dampfwagen angegeben. Soll aber eine solche Angabe vollständig und zur Bezeichnung der Wirkung der Maschine unter allen Umständen hinreichend sein, so müssen noch zwei andere Elemente hinzugefügt werden, nämlich die Reibung

der Maschine und der **Umfang der heizenden Oberfläche** des Kessels.

Die bei stehenden Dampfmaschinen gewöhnliche Art, die Leistungsfähigkeit durch Vergleichung mit Pferdekräften auszudrücken, ist in allen Fällen mangelhaft und würde bei Dampfwagen gar nicht anwendbar sein. Erstens ist die Wirkungskraft eines Dampfwagens nicht allein von der in dem Dampfe befindlichen Kraft abhängig, sondern auch von dem **Gewichte** der Maschine, welches eine größere oder geringere Adhäsion der Räder auf den Schienen verursacht, und folglich die Bewegung einer mehr oder weniger beträchtlichen Last bewirkt. Zweitens muß sich der Dampfwagen mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen. Außer dem Gewichte der Ladung ist auch der Umstand zu berücksichtigen, daß die Maschine, indem sie sich fortbewegt, ihre eigene Reibung zu überwinden hat. Diese Reibung, die daher immer als eine unveränderliche Größe bei dem Widerstande erscheint, von welchem sie zuvörderst abgezogen werden muß, beschränkt, nach Verhältniß der Geschwindigkeit der Bewegung, die in der Maschine übrig bleibende, auf die Ladung zu verwendende Kraft. Wenn wir daher die Kraft der Maschine durch die hervorgebrachte Wirkung bestimmen wollten, so würden wir finden, daß eine solche Schätzung bei jedem Grade der Geschwindigkeit, in welchem wir die Maschine betrachteten, verschieden ausfallen würde. Drittens bewegt sich der Dampfwagen dreimal bis viermal schneller, als es ein Pferd vermag, und es würde daher eine unverständliche Fiction sein, seine Leistungsfähigkeit mit Pferdekräften zusammenzustellen. — Man vergleiche was **Lardner** Seite 261 über das Prinzip der Schätzung nach Pferdekräften sagt.

C.

Mit einem Kessel von der Größe und Gestalt, wie man ihn in den Wagen auf der Liverpool-Bahn sieht, von 6 bis 7 Fuß Länge und aus 60 bis 140 Röhren bestehend, kann die Maschine in jeder Minute gegen 1 Kubikfuß Wasser in Dampf verwandeln, oder 1 Pfund in einer Sekunde, bei einem Drucke von 50 Pfund auf den Quadratzoll.

Vergleicht man den Umfang der in diesen Maschinen der Wirkung der Hitze ausgesetzten Oberfläche, so muß man die Oberfläche, die der unmittelbaren Wirkung des Feuers ausgesetzt ist, von derjenigen unterscheiden, welcher die Hitze nur während des Durchgangs der heißen Luft vom Herde zum Rauchfange mitgetheilt wird. Aus Versuchen ergibt sich, daß die Wirkungen von beiden sich wie 3 zu 1 verhalten. Vergl. oben Seite 262.

D.

Auf der Eisenbahn zwischen Stockton und Darlington, die eine geringere Geschwindigkeit erzielt, sind Wagen von anderer Einrichtung gebräuchlich als auf der Liverpool-Bahn.

Die Aktien-Gesellschaft besitzt 33 Wagen von verschiedener Art. In einigen Maschinen geht das Feuer durch den Kessel in einer einzigen Röhre, die als Herd dient und unmittelbar mit dem Rauchfange in Verbindung steht. In anderen krümmt sich die Röhre im Kessel, ehe sie das andere Ende erreicht, und geht dann in den Rauchfang, der in diesem Falle neben der Thüre des Herdes sich befindet. In einigen theilt sich die Feuerröhre, wenn sie an das Ende des Kessels kommt, und kehrt als zwei kleinere Röhren zu dem Rauchfange zurück. In andern ist das Feuer zwar in einer durch den Kessel laufenden Röhre, die Flamme aber wird mittels vieler kleinen messingenen Röhren in den Rauchfang geleitet, ungefähr wie in den Maschinen auf der Liverpool-Bahn. Drei Wagen sind nach dem Muster der Liverpool-Wagen gebaut.

Die Aktien-Gesellschaft befördert sowohl Reisende als Güter. Personen werden mit einer Geschwindigkeit von 12 englischen Meilen in einer Stunde, Güter mit einer Geschwindigkeit von 8 Meilen in einer Stunde fortgeschafft. Nur diejenigen Kessel, welche aus mehren kleinen Röhren bestehen, passen für Personenwagen, die andern aber können nicht eine zu diesem Zwecke hinlängliche Dampfmenge erzeugen. Wird nur eine Geschwindigkeit von 8 Meilen in einer Stunde verlangt, bei einem Zuge von 24 Wagen, welche, wenn sie

leer hinangehen, einer Ladung von ungefähr 60 Tonnen auf ebener Bahn gleich sind, hat man diejenigen Kessel, die eine einzige gekrümmte Röhre haben, am passendsten gefunden. Sie erzeugen eine für ihre Leistung hinlängliche Dampfmenge und haben den Vorzug, daß sie sowohl in Hinsicht auf die erste Anlage als die Unterhaltung wohlfeiler sind, da sie eine einfache Form haben und aus Eisen bestehen, während die Röhrenkessel aus Kupfer gemacht werden müssen.

Außer dem Kessel sind auch andere Theile des Dampfwagens verschieden. Die Cylinder stehen auf der Außenseite und in senkrechter Stellung. Die Bewegung wird der Maschine von dem Kolben nicht mittels einer Kurbel an der Achse, sondern durch eine Verbindungsstange an der Außenseite des Rades mitgetheilt, welche auf einem in einer Speiche befestigten Zapfen ruht. Diese Wagen haben gewöhnlich sechs gleiche Räder von 4 Fuß Durchmesser. Zwei Räder werden durch die Cylinder auf die angegebene Weise bewegt, und die vier andern sind durch Verbindungsstangen mit den ersten vereinigt, so daß sich alle zugleich bewegen.

Das Gewicht der Wagen ist verschieden. Diejenigen, die nach dem Muster der Liverpool-Wagen eingerichtet sind, haben ein Gewicht von ungefähr 5½ Tonnen; die übrigen wiegen im Durchschnitt 10 bis 12 Tonnen.

Alle Wagen haben Federn. In einigen ältern sollte das Kesselwasser, das auf kleine bewegliche Kolben drückte und selbst vom Dampfe im Kessel gedrückt wurde, die Federn ersetzen, aber diese sinnreiche Vorkehrung ward aufgegeben, weil sie in der Praxis zu vielen Veränderungen ausgesetzt war. Vergl. oben S. 151.

Die gewöhnlichen Verhältnisse der Dampfwagen auf dieser Bahn sind:

Durchmesser des Cylinders	14½ Zoll
Kolbenhub	16 —
Durchmesser der Räder	4 Fuß
Gewicht	11 Tonnen
wirklicher Druck auf den Quadratzoll	48 Pfund.

Der Druck verändert sich jedoch nach der geprüften Fe-

stigkeit des Kessels. Werden die Platten, aus welchen er besteht, sehr dünn, so wird der Druck zuweilen bis auf 36 Pfund vermindert, dagegen unter andern Umständen auf 60 Pfund gesteigert.

E.

Der von dem Dampfe bewegte Kolben gibt den Rädern eine wälzende Bewegung, welche den Wagen forttreiben muß, wenn anders nicht der nachfolgende Wagenzug einen größeren Widerstand entgegensetzt, als die Kraft der Maschine überwinden kann.

Die Wagenzüge bestehen gewöhnlich aus einer größern oder geringern Anzahl von Lastwagen, auf welche die Güter geladen werden. Ihr Widerstand hängt nicht bloß von ihrem Gewichte ab, sondern auch von der Beschaffenheit der Eisenbahn und der mehr oder minder vollkommenen Einrichtung der Wagen. Ist die Bahn nicht in gutem Stande oder paßt sie nicht für die Zwecke, zu welchen sie bestimmt ist, so muß der Widerstand, den der Wagenzug den Schienen entgegensetzt, um so größer sein. Derselbe Fall tritt ein, wenn die Wagen, weil sie schlecht gebaut oder nicht gut ausgebessert sind, eine bedeutende Reibung verursachen.

Es ergibt sich daraus, daß die Kraft, welche erfoderlich ist, eine gewisse Last, z. B. 1 Tonne, zu ziehen, nicht auf allen Eisenbahnen und nicht bei allen Wagen gleich sein kann. Auf einer vollkommen ebenen und glatten Bahn und mit gut gebauten und gut eingeschmierten Wagen wird zum Ziehen einer Tonne nur eine Kraft von 8 Pfund erfodert, das heißt, ein Gewicht von 8 Pfund am Ende eines über einen Flaschenzug laufenden Seiles würde in diesem Falle hinlänglich sein, einen mit einer Last von einer Tonne beladenen Wagen zu ziehen. Auf einer andern Bahn und bei Wagen von anderer Einrichtung hingegen könnte dieselbe Last eine Kraft von 10 Pfund und mehr erfodern.

Die alten Wagen, mit welchen auf der Liverpool-Bahn einige Versuche gemacht wurden, foderten 10 bis 12 Pfund für jede Tonne der Ladung. Nach der Einführung der neuen

verbesserten Wagen hat man nur mit einem einzigen Wagen einen Versuch angestellt, aber zu einer Zeit, wo der Wagen eben aus der Werkstätte kam. Da dieser Wagen sorgfältig eingeölt war und noch keine Stöße seine Achsen gebogen, seine Räder gekrümmt hatten und überdieß die Schienen der Bahn sorgfältig gereinigt waren, so konnte das Ergebniß des Versuches kaum als ein praktisches betrachtet werden. Die Reibung des Wagenzuges wird auch noch jetzt auf der Liverpool-Bahn zu 10 Pfund für jede Tonne berechnet.

Die Versuche, welche der Ritter von Pambour im Jahre 1834 mit Wagen von der neuern Einrichtung anstellte, zeigten ihm als Ergebniß, daß die Reibung der Wagen 8 Pfund auf die Tonne im Durchschnitt nicht übersteigen kann.

F.

Finden wir zuweilen Berechnungen der Wirkungskraft von Dampfwagen oder von Dampfmaschinen anderer Art, worin von einer verlorenen Kraft die Rede ist, Berechnungen, nach welchen es scheinen könnte, als ob diese Maschinen in der Praxis nur $\frac{1}{3}$ oder selbst nur $\frac{1}{4}$ ihrer sogenannten theoretischen Kraft ausübten, und ist dieser Unterschied zwischen Praxis und Theorie jetzt so allgemein angenommen, daß es als Regel gilt, zu sagen, praktische Pferde seien nur das Drittheil theoretischer Pferde, so liegt der Grund bloß darin, daß die vermeinte theoretische Kraft falsch berechnet ist. Man hat die verschiedenen hier eintretenden Umstände nicht gehörig beachtet. Vor aller Berechnung hat man den atmosphärischen Druck abgezogen, der Widerstand der Maschine oder dessen Zunahme nach Verhältniß der Ladung ward übersehen, und überdieß wurde der Druck auf den Kolben dem Drucke im Kessel gleich gesetzt, obgleich beide sehr verschieden sind. Bei so vielen Irrthümern ist es nicht auffallend, daß man auf Ergebnisse gekommen ist, welchen die Erfahrung widerspricht, oder daß man sehr gute Maschinen bauen kann, ohne im Stande zu sein, ihre Kraft oder ihre Wirkung zu berechnen. Nehmen wir aber auf jeden überwundenen Widerstand Rücksicht, nehmen wir den Druck im Cy-

linder für dasjenige, was er wirklich ist, so werden wir auf ein merkwürdiges Ergebniß kommen, welches auf alle Arten von Dampfmaschinen anwendbar ist, nämlich daß sich jede verwendete Kraft in der hervorgebrachten Wirkung nachweisen läßt, und daß es kein einziges Pfund gibt, dessen Nutzen sich nicht darthun ließe.

G.

Ueber die Einrichtung der Seite 160 erwähnten Röhre, welche den Dampf in den Rauchfang treibt, geben wir hier eine nähere Erklärung. Diese aufwärts gerichtete Röhre hat eine sehr kleine Mündung, die sich in der Mitte des Rauchfanges öffnet. Der Dampf, der bei jedem Ausströmen die Luftsäule hinauftreibt, die den Rauchfang füllte, läßt einen luftleeren Raum hinter sich, den unmittelbar die äußere Luft füllt, die nun durch den Herd strömt. So wird nach jeder Dampfausströmung das Feuer lebhaft angefacht. Dieser künstliche Luftstrom ist so nothwendig, daß, wenn die Blaseröhre beschädigt ist oder ein Leck hat, die Maschine fast unwirksam wird, weil der gewöhnliche Zug des Rauchfangs nicht stark genug ist.

Je enger die Mündung der Röhre ist, desto stärker ist der Luftzug und desto mehr wird das Feuer angefacht. Es wird daher in derselben Zeit mehr Dampf erzeugt, oder die Kraft der Maschine vermehrt. Dieß ist bei der Bestimmung der Wirkungskraft der Maschine ein wichtiger Punkt, denn wenn der Durchmesser der Blaseröhre geändert wird, so ändert sich auch die wärmestrahlende Kraft des Kessels. In den Maschinen auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester ist der Durchmesser dieser Röhre $2\frac{1}{4}$ bis $2\frac{1}{2}$ Zoll. Man verkleinerte die Mündung nach und nach so sehr als es möglich war, ohne den Durchgang des Dampfes zu hindern, bis man endlich fand, daß sich durch weitere Verminderung des Durchmessers nicht mehr Kraft erlangen ließ.

Bei einem Durchmesser der Mündung von $2\frac{1}{2}$ Zoll oder 5 Quadratzoll Fläche und bei Cylindern von 11 Zoll Durchmesser, oder 190 Quadratzoll Fläche, das heißt bei einer Mün=

dung, die nur $\frac{1}{38}$ der Fläche der Cylinder beträgt, muß, wenn der gesammte Dampf auf diesem Wege entweichen soll, seine Geschwindigkeit in der Röhre 38 mal so groß sein, als im Cylinder. Die Geschwindigkeit der Ausströmung im Rauchfange wird daher bei den Dimensionen, die wir annehmen, 38 mal so groß als die Geschindigkeit des Kolbens sein, oder $6\frac{1}{2}$ mal so groß als die Geschwindigkeit der Maschine, da diese ungefähr sechsmal so groß als die Geschwindigkeit des Kolbens ist.

Fährt der Dampfwagen 30 englische Meilen in einer Stunde, so wird die Geschwindigkeit der Ausströmung der Blaseröhre 195 Meilen in einer Stunde gleich sein, oder 286 Fuß in einer Sekunde, und da diese Geschwindigkeit nicht bloß durch das Streben des Dampfes, in die Atmosphäre zu entweichen, hervorgebracht werden kann, so muß bei dieser großen Geschwindigkeit ein Theil der Kraft der Maschine selbst verwendet werden, um den Dampf auszutreiben, das heißt, um das Feuer auf dem Herde anzufachen. Da nun die Vermehrung der Wirkung durch ein Opfer der Kraft hervorgebracht wird, so muß ein Punkt kommen, wo der Vortheil durch den Aufwand aufgewogen wird, der nöthig ist, ihn zu erlangen, und wo aller Gewinn aufhört.

H.

Geneigte Ebenen oder schiefe Flächen sind ein großes Hinderniß der Bewegung auf Eisenbahnen. Sobald ein Wagenzug eine geneigte Ebene erreicht, tritt ein bedeutend vermehrter Widerstand ein, weil die Schwere der gesammten aufwärts zu ziehenden Masse zunimmt.

Nehmen wir an, es werde ein Wagenzug von 100 Tonnen durch eine Maschine gezogen. Ist auf einer Ebene die Reibung der Wagen gleich 8 Pfund auf die Tonne, so wird die Maschine eine Kraft von 800 Pfund auf einer Ebene brauchen. Dieser Wagenzug soll eine schiefe Fläche bei einer Steigung von 1 Fuß in 100 hinanfahren. Außer dem durch die Reibung der Wagen verursachten Widerstande kommt hier noch ein anderer hinzu, die Schwere der gesammten, auf der Ebene in Bewegung gesetzten Masse. Diese Schwere ist die Kraft,

vermöge welcher der Wagenzug zurückrollen müßte, wenn er nicht aufgehalten würde, und sie ist gleich dem Gewichte der Masse, dividirt durch die Zahl, welche die Neigung der Ebene anzeigt. Wird nun die Last von 100 Tonnen von einem Dampfwagen gezogen, der 10 Tonnen schwer ist, so wird die gesammte, auf die geneigte Ebene gebrachte Masse 110 Tonnen oder 246,400 Pfund sein, und ihre Schwere auf der schiefen Fläche von der angenommenen Steigung von 1 Fuß in 100 ist daher $\frac{264{,}400}{100}$ oder 2464 Pfund. Die vermehrte Zugkraft, welche die Maschine unter diesen Umständen aufwenden muß, ist daher 2464 Pfund, und da wir gesehen haben, daß auf einer Ebene eine Last von 1 Tonne eine Zugkraft von 8 Pfund verlangt, so ergibt sich, daß jene 2464 Pfund den Widerstand bezeichnen, den auf einer Ebene eine Last von 308 Tonnen entgegensetzen würde. Die Maschine, die vorher 100 Tonnen zog, muß nun 408 ziehen, oder doch dieselbe Kraft aufwenden, als ob sie 408 Tonnen auf einer Ebene zöge.

So muß der Widerstand auf einer schiefen Fläche berechnet werden. Sehr oft wird bei einer solchen Berechnung nur die Schwere der Last beachtet, ohne auf die Schwere der Maschine zu sehen, die auch in Anschlag gebracht werden muß.

Die geneigten Ebenen auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester, deren Steigung auf den ersten Blick unbedeutend erscheint, machen doch eine vermehrte Wirksamkeit der Maschine nöthig, welche $\frac{1}{6}$ mehr als die Kraft beträgt, die auf einer Ebene nöthig ist. Wir sehen daher, wie wichtig es ist, bei der Anlegung einer Bahn dahin zu trachten, daß sie so viel als möglich eine vollkommene Ebene werde. Es ist oft der Fall, daß man, wenn eine Bahnstrecke nicht geebnet, daß heißt, ein Hügel nicht durchschnitten, oder ein Damm in einem Thale nicht angelegt wird, viel zu ersparen glaubt. Dieß ist ein großer Irrthum, denn in den meisten Fällen erspart man nur in der ersten Anlage, wogegen die jährliche Vermehrung des Aufwandes bei weitem die Zinsen des ersparten Kapitals übersteigt.

Behält man auf einer Bahnlinie eine geneigte Ebene, so wird es nicht nur unmöglich, die Fracht für Güter wohlfeil

zu machen, sondern, was noch weit wichtiger ist, es entstehen oft bei dem Hinabfahren von steilen Anhöhen Unglücksfälle, deren geringster Nachtheil ist, daß sie das Vertrauen des Publikums schwächen. Es ist daher nothwendig, bei der Anlegung einer Eisenbahn den Grundsatz fest zu halten, daß der Zweck auf eine vollkommen ebene Bahn gerichtet sein soll. Vergl. Seite 172 ff.

Auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester sind die Wagenzüge selten so schwer, daß die Kraft der Maschine, selbst bei den höchsten Steigungen von 1 Fuß in 96 und 1 in 89, nicht hinreichend wäre. Gewöhnlich gehen die Maschinen diese Höhen ohne Hilfe hinan, und auf der ebenen Bahnlinie wird die Geschwindigkeit durch theilweises Verschließen des Regulators geregelt.

Die Hilfsmaschinen, die man in schwierigen Fällen an dem Fuße einer schiefen Fläche aufstellt, sind auf eine langsame Bewegung und eine bedeutende Kraftanwendung berechnet. Ihre Cylinder haben 12 bis 14 Zoll im Durchmesser mit dem gewöhnlichen Kobenhub von 16 Zoll, und der Durchmesser der Räder ist nur 4 Fuß 6 Zoll. Um die Adhäsion zu vermehren, hat die Maschine ein Gewicht von 12 Tonnen und die vier Räder sind verbunden.

Die Dampfwagen erhalten in dem Augenblicke, wo sie über eine geneigte Ebene gehen, eine bedeutende Kraftvermehrung, weil bei der plötzlich verminderten Geschwindigkeit die Cylinder weniger Dampf verzehren. Das durch die frühere Geschwindigkeit der Bewegung lebhaft angefachte Feuer liefert fortdauernd dieselbe Dampfmenge, und ein großer Theil derselben entweicht durch das Ventil, das aber zu enge ist, um allen Dampf ausströmen zu lassen. Der Dampf erhält dadurch einen höheren Druck im Kessel. Ist der wirkliche Druck gleich 50 Pfund auf den Quadratzoll, so kann er auf geneigten Ebenen bis zu 60 Pfund steigen. Dieß muß in Anschlag gebracht werden, wenn man die Last berechnen will, welche die Maschinen auf einer geneigten Ebene zu ziehen im Stande sind. Es ist jedoch zu bemerken, daß dieß nur wirksam ist, wenn die geneigten Ebenen nicht zu lang sind, weil in diesem

Falle das Feuer nicht mehr in demselben Verhältnisse angefacht wird und daher die erhöhte Wirkungskraft abnimmt.

Auch in dem Augenblicke, wo der Dampfwagen sich in Bewegung setzen soll, ist eine vermehrte Kraft nöthig. Ist die Bewegung einmal hervorgebracht, so braucht sie nur immer dem Widerstande gleich zu sein; sie muß ihn aber übertreffen, wenn sie die Masse erst in Bewegung setzen soll. In dem ersten Fall muß die Geschwindigkeit bloß unterhalten, in dem anderen muß sie hervorgebracht und unterhalten werden.

I.

Die beträchtlichen Lasten, welche Dampfwagen auf Eisenbahnen zu ziehen im Stande sind, müssen die Besorgnisse derjenigen entfernen, welche glauben, daß die Räder dieser Wagen immer zu gleiten geneigt sind, und die, um diesem eingebildeten Uebel abzuhelfen, Dampfwagen auf Heerstraßen zu gebrauchen suchen, ohne gewiß zu sein, daß die Adhäsion hier stärker sein werde. Vergl. Seite 191 ff.

Wir sehen Dampfwagen auf einem Schienenwege 244 Tonnen durch Dampfkraft und nicht weniger als 75 Tonnen durch Adhäsion ziehen.

Auf einer Heerstraße, wo der Widerstand sehr bedeutend ist, würde nicht eine jener Maschinen im Stande sein, durch ihre Dampfkraft eine Last von 75 Tonnen, viel weniger von 244 zu ziehen. Ihre Last würde immer und unter allen Umständen geringer sein, als auf einer Eisenbahn.

Betrachten wir eine dieser Maschinen mit demselben Gewichte und demselben Drucke in jenen beiden ganz verschiedenen Verhältnissen.

Die von dem berühmten englischen Baumeister Telford angestellten Versuche zeigen, daß die zur Fortschaffung einer Last von einer Tonne nöthige Zugkraft auf verschiedenen Arten von Heerstraßen — auf gut gepflasterten, oder mit Kies bedeckten, oder mit kleinen Steinen belegten — im Durchschnitt 67 Pfund ist. Auf einer Eisenbahn sind für eine Tonne nur 8 Pfund nöthig.

Der Dampfwagen Fury, der bei einem Dampfdruck

von 65 Pfund 244 Tonnen ziehen konnte, würde bei gleichem Drucke selbst auf der besten Heerstraße Englands nicht im Stande sein, mehr als $\frac{1}{8}$ jener Last oder 30 Tonnen zu ziehen.

Dabei ist noch zu erwägen, daß der Widerstand der Maschine auf einer Heerstraße, wie der Widerstand der Wagen des Zuges, sich bedeutend vermehren wird. Sie muß daher, um sich zu bewegen, weit mehr von ihrer eigenen Kraft verbrauchen, wodurch in gleichem Verhältnisse die 30 Tonnen, die sie sonst hätte ziehen können, sich vermindern werden.

Wir sehen, daß auf einer Heerstraße der Widerstand der Wagen die nutzbare Wirkung weit schneller hemmt, als es die Adhäsion auf einer Eisenbahn thut, und daß unter allen Umständen dem Dampfwagen auf Eisenbahnen, hinsichtlich der Ladung, der Vorzug gebührt.

Ein Umstand scheint für die Anwendung der Dampfwagen auf Heerstraßen zu sprechen. Man will den Aufwand für die Anlegung einer Schienenbahn vermeiden und glaubt dadurch bedeutend zu ersparen. Allerdings wird das für den Bau und die Unterhaltung einer Eisenbahn erfoderliche Kapital nicht aufgewendet werden, aber es wird auch der Hauptvortheil der Unternehmung verloren gehen.

Warum will man sich scheuen, ein Kapital anzulegen, wenn ein bedeutender Gewinn daraus zu ziehen ist? Warum den ersten Aufwand meiden, wenn die Folge davon ist, daß man jährlich mehr als die Zinsen der ersparten Summe ausgeben muß?

Dieß ist hier ganz der Fall. Die Kosten der Anlegung einer Eisenbahn sind freilich beträchtlich, aber sie sind das Hauptelement eines glücklichen Erfolges. Man gibt Geld zur Ebenung einer Straße aus, um künftig ohne Schwierigkeit Güter fortschaffen zu können und von diesem Augenblicke an Vortheile zu ernten.

Ist es vortheilhaft, Eisenbahnen für Pferde anzulegen, wie eine vieljährige Erfahrung in England in den Steinkohlen-Bezirken bewiesen hat, wie sollte es unvortheilhaft sein können, sie für Dampfwagen anzulegen?

Es mag auffallen, einen Dampfwagen auf einer Heerstraße zwei bis drei Postkutschen, jede mit 12 bis 15 Reisenden, ziehen zu sehen. Aber die Dampfwagen in Liverpool zogen einst 800 Reisende mit einer Schnelligkeit von 15 englischen Meilen in einer Stunde.

Man hat bis jetzt kein Beispiel, daß ein Dampfwagen auf einer Heerstraße mehr als drei Wagen gezogen hätte. Die Ursache ist leicht einzusehen. Es gibt keine Heerstraße ohne bedeutende Erhöhungen, und um diese Hindernisse zu überwinden, ist es nöthig, der Maschine nur so viel Last zu geben, als sie über die steilsten Steigungen zu bringen vermag. Bei einer Steigung von 1 in 12 Fuß gibt das Gewicht von drei Postkutschen, oder 9 Tonnen, verstärkt durch das Gewicht der Maschine, einen Widerstand, der demjenigen gleich ist, den 45 Tonnen oder 15 Postkutschen auf einer ebenen Straße darbieten würden. Eine Dampfmaschine, die drei Dampfwagen auf einer längeren Reise ziehen soll, muß daher im Stande sein, 15 beladene Postkutschen auf einer ebenen Heerstraße zu ziehen. Dieß ist alles, was man, ungeachtet aller Verbesserungen, voraussetzen kann, denn diese Kraft entspricht 120 Dampfwagen auf einer Eisenbahn. Wir müssen daher 2 bis 3 Postkutschen als die gewöhnliche Last für einen Dampfwagen auf einer Heerstraße annehmen.

Durch die Anlegung einer Eisenbahn setzt man jene Maschinen in Stand, 40 beladene Postkutschen oder Wagen zu ziehen. Wollte man dieselbe Leistung auf einer Heerstraße möglich machen, so würden zwölfmal so viele Dampfwagen mit zwölfmal so vielen Maschinenwärtern nöthig sein. Erwägt man überdieß, wie nachtheilig es für die Maschinen hinsichtlich des Feuerungsbedarfs ist, kleine Lasten zu ziehen, so dürfen wir annehmen, daß sich die Kosten für die Feuerung verdoppeln werden. Wir müssen uns davon um so mehr überzeugen, wenn wir in Erwägung ziehen, daß ein Kraftzuschuß nöthig ist, um auf einer unebenen Straße die Maschine selbst zu bewegen.

Die Ausbesserung der Dampfwagen verursacht selbst auf Eisenbahnen einen bedeutenden Aufwand. In Liverpool sind

von den 30 der Aktiengesellschaft gehörenden Maschinen nur zehn in Thätigkeit, um Güter und Reisende fortzuschaffen. Sie sind täglich 8 bis 10 Stunden im Gange, und die jährlichen Unterhaltungskosten betragen für alle 18,000 Pf. Sterling oder 1800 Pfund für jede. Diese Kosten werden gedeckt und sind eine Gewinnquelle, weil auf einer Eisenbahn die Dampfwagen beträchtliche Lasten ziehen; aber es würde nicht so sein, wenn man die Wagenzüge verminderte, oder mit andern Worten, wenn eine größere Zahl von Maschinen nöthig wäre, dasselbe Werk zu verrichten. Wie beträchtlich würden die Ausbesserungskosten sein, wenn die Dampfwagen, statt auf einer Schienenbahn hinzufliegen, auf unseren unebenen Heerstraßen rollen sollten? Und man hätte zwölfmal so viele Maschinen auszubessern.

Der Hauptvortheil solcher Unternehmungen ist die Geschwindigkeit der Fortschaffung. Als die 30 Meilen zwischen Liverpool und Manchester in 4 Stunden zurückgelegt wurden, fuhren täglich 450 Personen auf dieser Straße; und jetzt, wo der Weg in höchstens anderthalb Stunden zurückgelegt wird, zählt man beinahe dreimal so viele. Der aus der schnellen Fortschaffung entspringende Gewinn muß aufgegeben werden, wenn die Dampfwagen nur 8 bis 10 englische Meilen in einer Stunde zurücklegen können.

Da die Dampfwagen auf Eisenbahnen nicht schwerer als 8 bis 9 Tonnen sind, so kann man dem Kessel einen hinlänglichen Umfang geben, um eine bestimmte Dampfmenge in einer Minute zu erzeugen und folglich eine bestimmte Geschwindigkeit bewirken. Wenn aber die Beschaffenheit der Straße uns nöthigt, das Gewicht der Maschine auf 3 Tonnen zu vermindern und wegen der Stöße auf einem unebenen Wege alle Theile stärker zu machen, so wird der Kessel eine geringere erhitzende Oberfläche haben und folglich eine geringere Geschwindigkeit erlangt werden. Daher kommt es, daß Dampfwagen auf Heerstraßen selten mehr als zehn englische Meilen in einer Stunde zurücklegen.

Endlich fügen wir hinzu, daß bis auf diesen Augenblick Dampfwagen auf Heerstraßen sich als eine sehr unsichere Un-

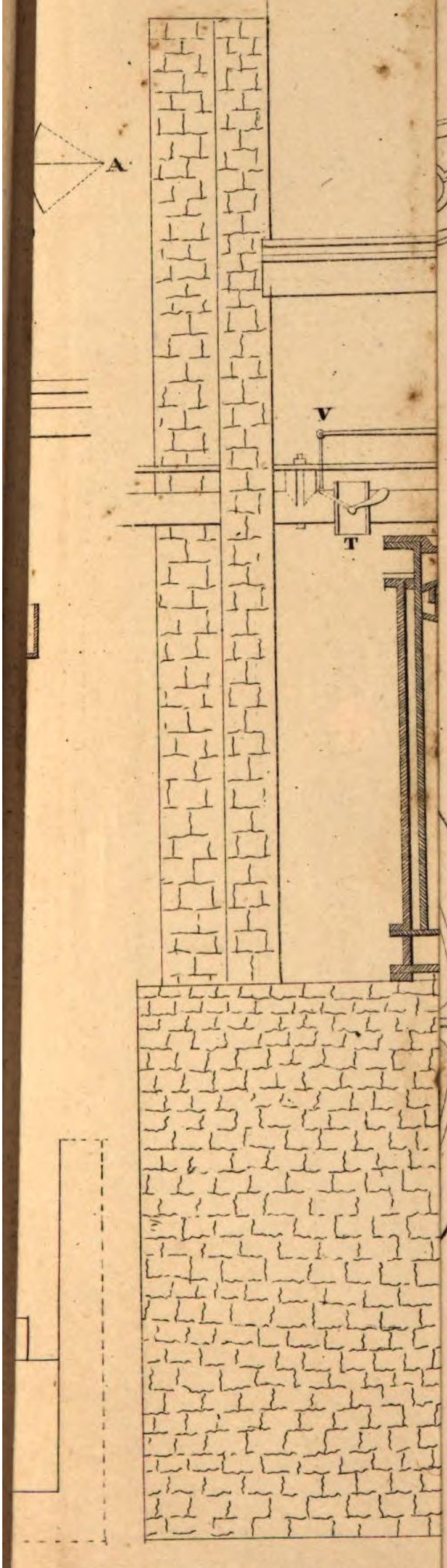
ternehmung zeigen, während für das Gedeihen der Eisenbahnen*) ihre fortdauernde Ausdehnung spricht. Dampfwagen mögen noch manche Verbesserungen zu erwarten haben; aber welche Vortheile sie auch auf einer Heerstraße darbieten mögen, es läßt sich nicht bestreiten, daß diese Vortheile auf einer Eisenbahn weit größer sein werden.

K.

Aus mehren angestellten Versuchen hat sich ergeben, daß es in Hinsicht auf den Feuerungsbedarf vortheilhaft ist, den Maschinen, wo möglich, die größte Ladung zu geben, die sie fortzuschaffen vermögen. Der Dampfwagen Atlas in Liverpool zog eine Last von 25 Tonnen und verbrauchte 720 Pfund Cokes, während er, mit 190 Tonnen beladen, nur das Doppelte jener Feuerung nöthig hatte. Dieser Unterschied liegt offenbar in dem Umstande, daß in beiden Fällen eine Kraftverwendung erfoderlich ist, um den Widerstand der Atmosphäre, der Maschine und ihres Vorrathswagens zu überwinden. Bei den angestellten Versuchen wurden die besten Cokes gebraucht. Wenn Cokes aus Gasbeleuchtungs-Anstalten gebraucht werden, so sind 12 Prozent mehr davon nöthig, ohne den Verlust zu rechnen, welcher aus der Zerreiblichkeit derselben entsteht. Auch hat man gefunden, daß die darin enthaltenen Schwefeltheile dem Metalle sehr nachtheilig sind. In Liverpool hat man den Gebrauch dieser Kohlen, ungeachtet ihrer Wohlfeilheit, gänzlich aufgegeben. Gebraucht man gute Steinkohlen, so ist beinahe eben so viel davon nöthig, als von guten Cokes, aber sie sind für die Maschine eben so nachtheilig, als die Cokes aus Gasbeleuchtungs-Anstalten.

*) Die Aktien der Bahn zwischen Liverpool und Manchester von 100 Pfund Sterling sind jetzt auf 210 gestiegen. Die Aktien der Bahn von Darlington gelten 300 Pfund.

C
F
D
S



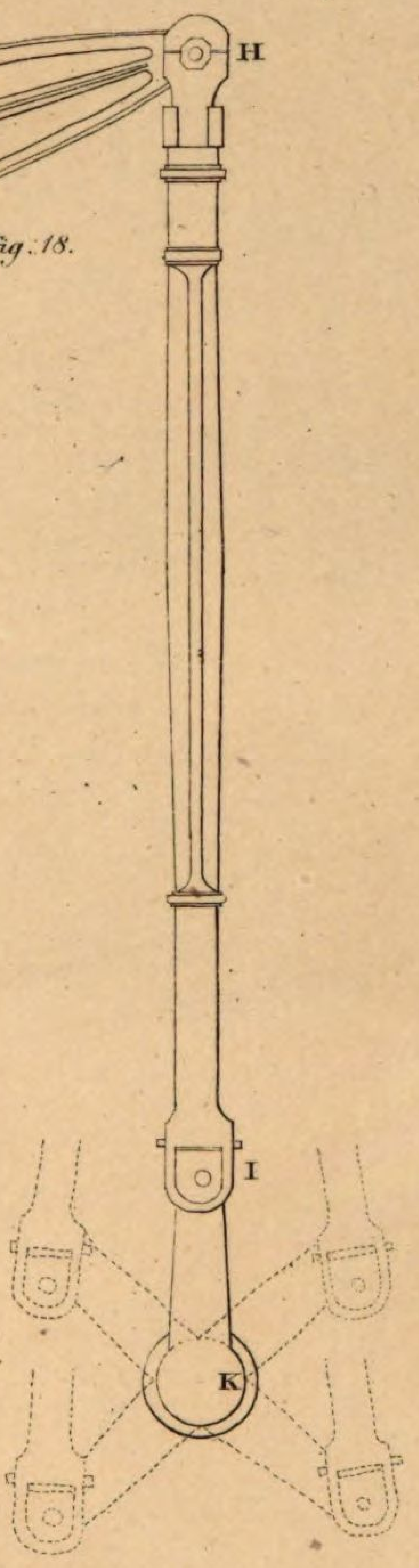


Fig. 18.

Fig. 21

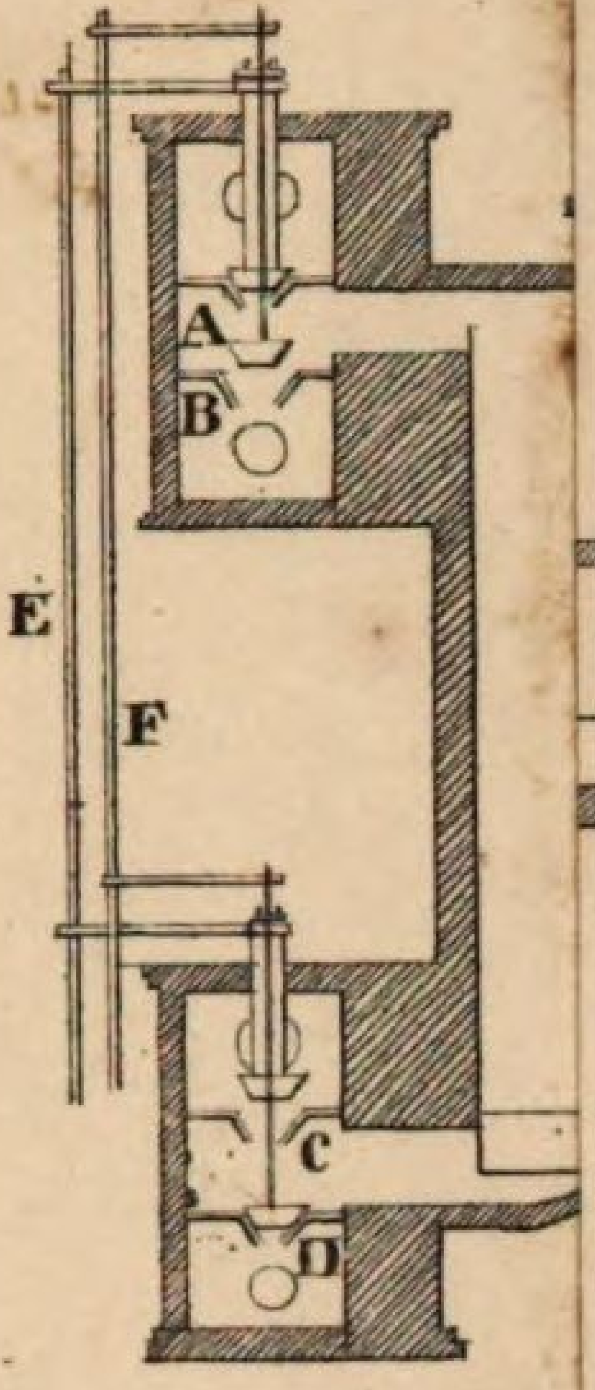
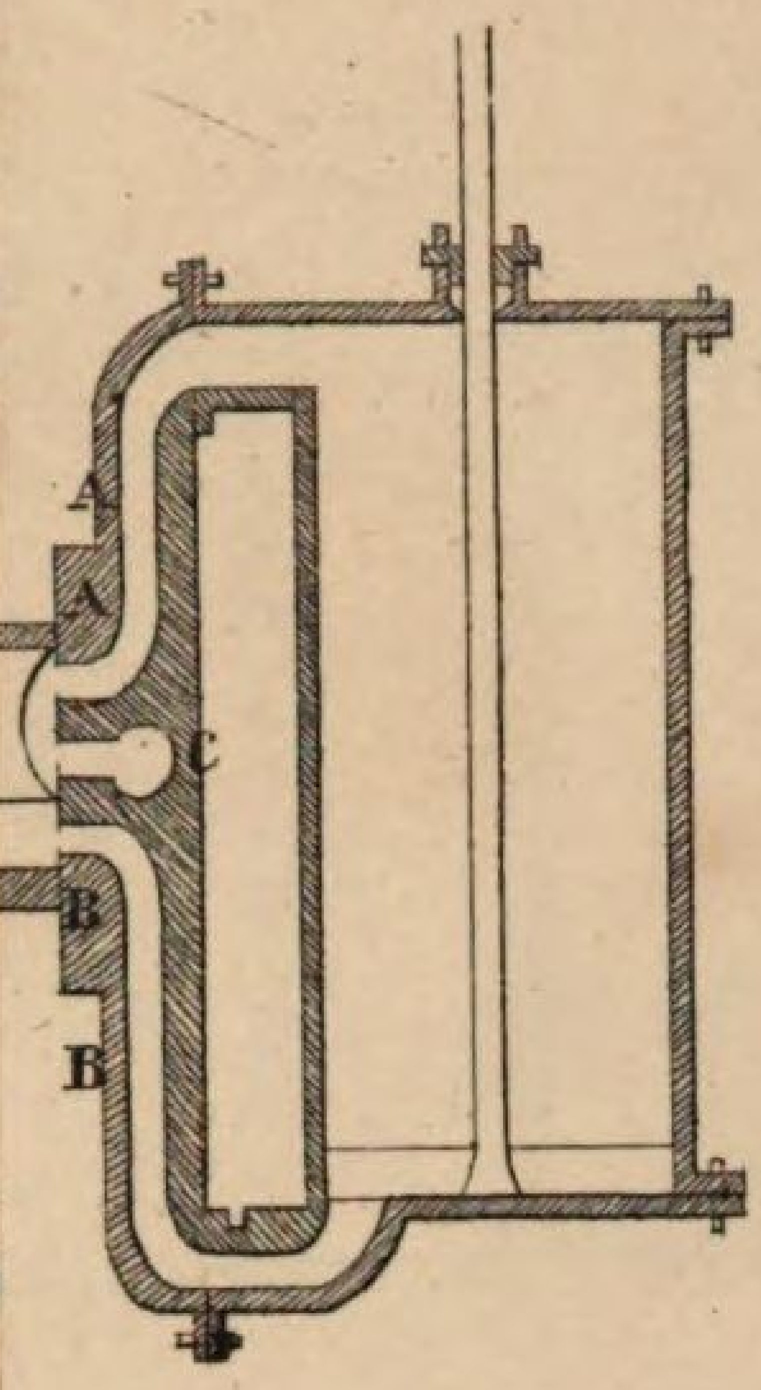


Fig. 25



28

Fig. 2

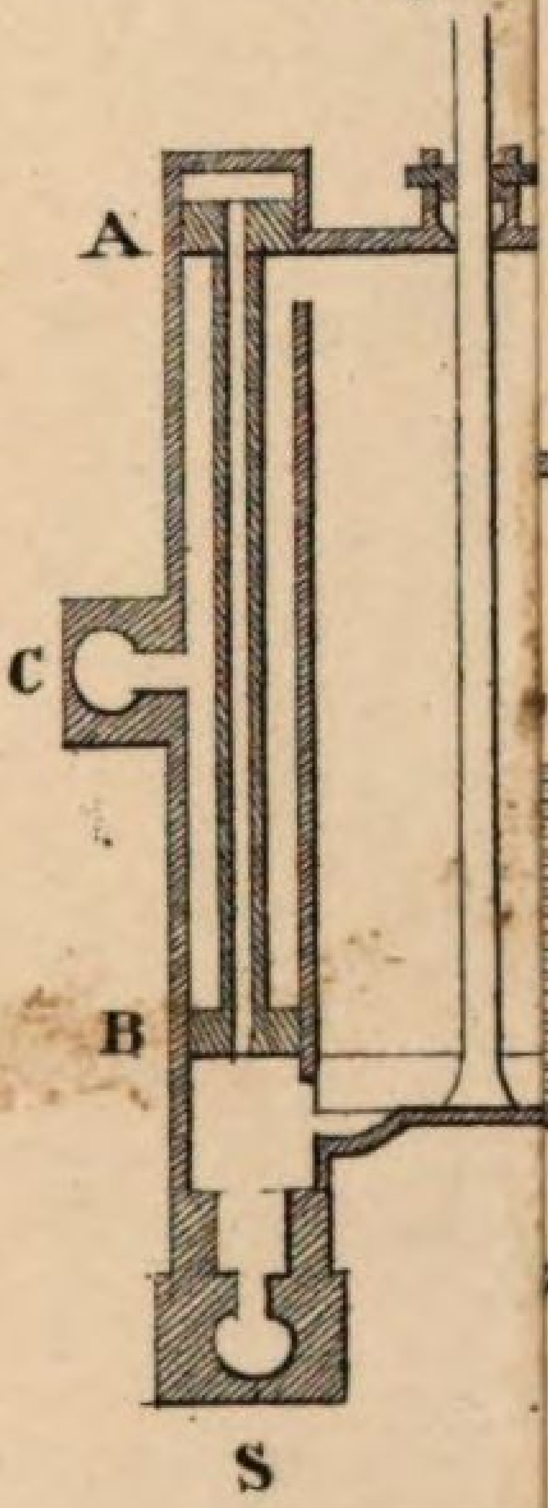
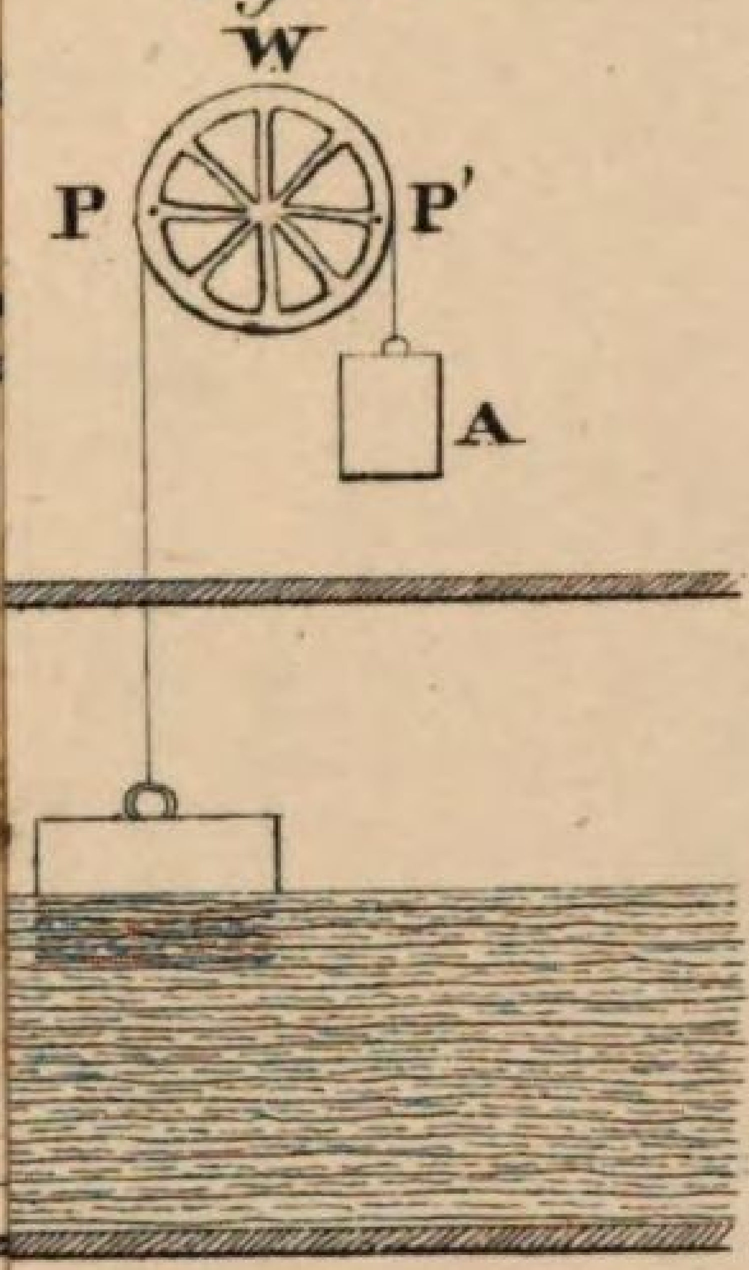


Fig. 34



43

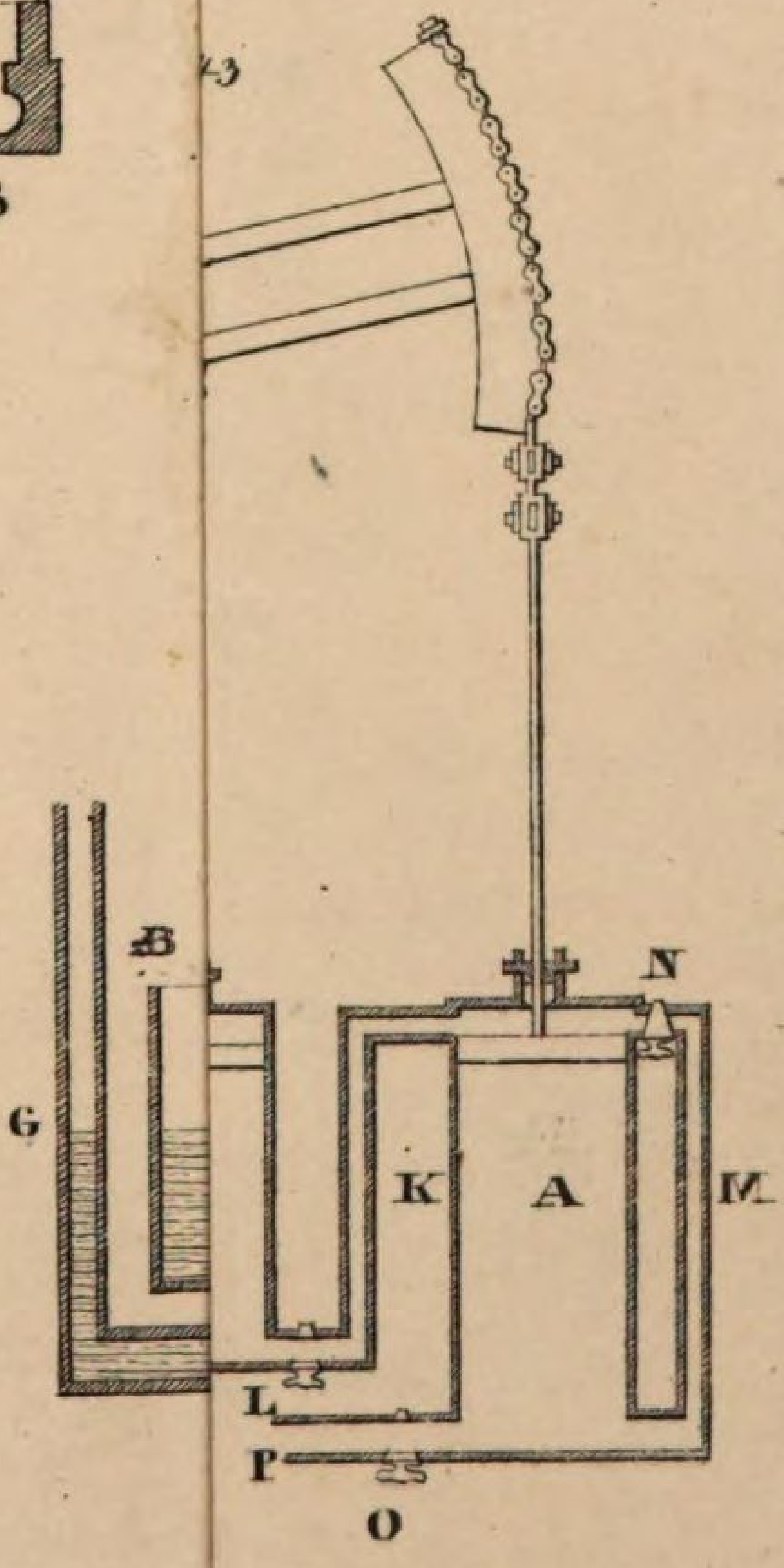


Fig. 67

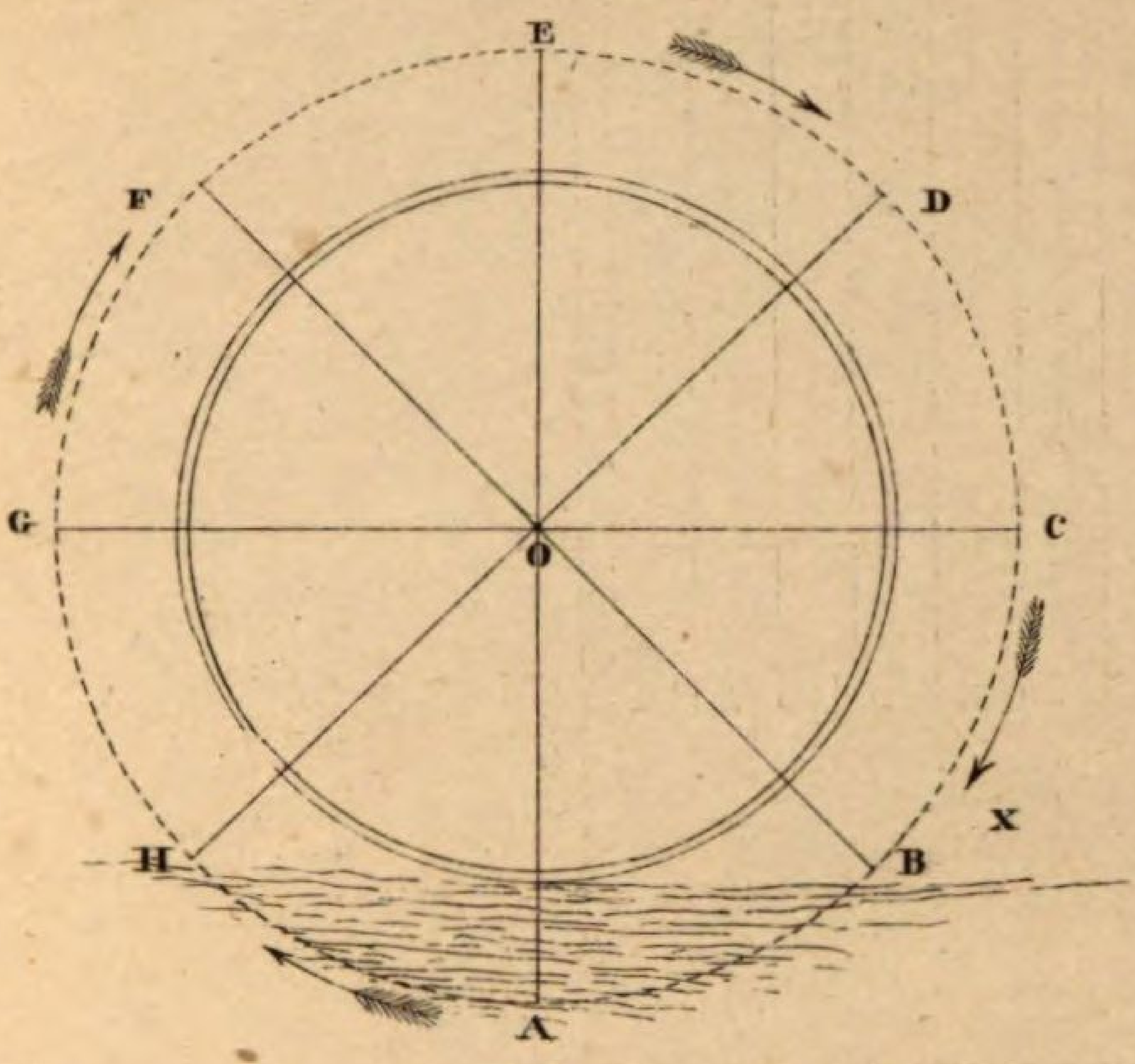


Fig. 71

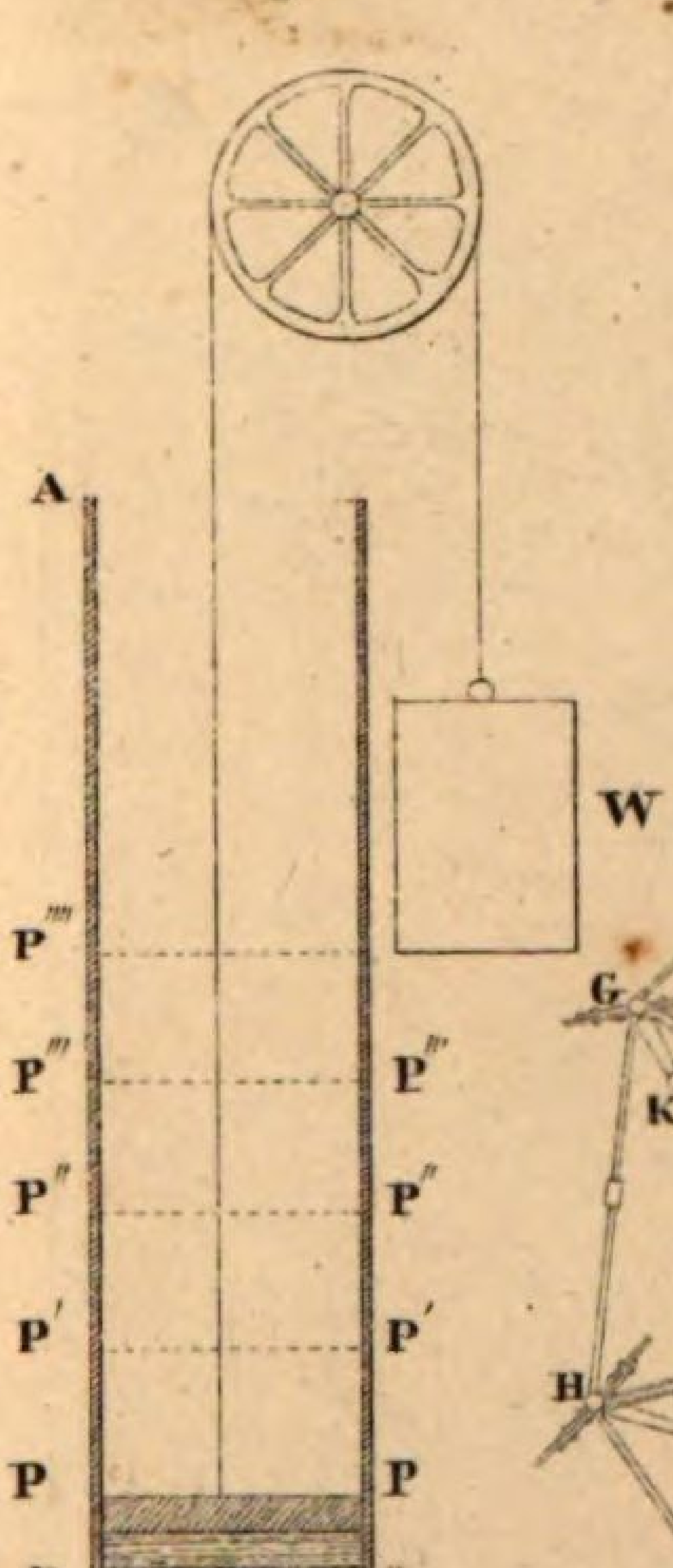
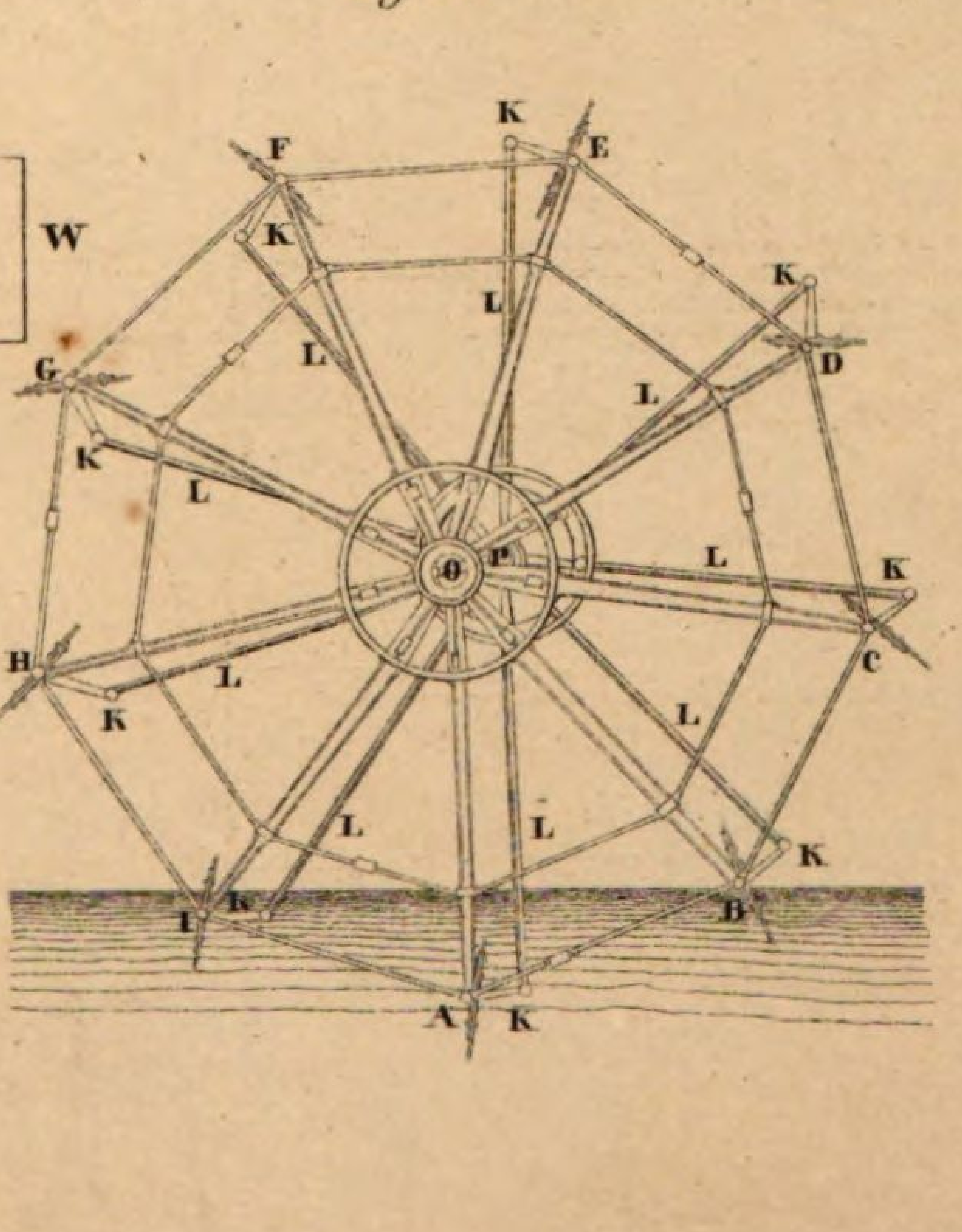


Fig. 70



Bayerische
Staatsbibliothek
München

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Lardner, Dionysius,

Die Dampfmaschine faßlich beschrieben und erklärt, insbesondere in ihrer praktischen Anwendung auf Eisenbahnen und Dampfschifffahrt ; nebst Winken ü ber Eisenbahn-Anlagen und deren Bedingungen

Leipzig 1836

BHS III 65
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10708340-9